



CECS

xxx : 202x

中国工程建设协会标准

输电杆塔结构耐候钢应用技术规程

**Technical specification of Corrosion resistant steel
for Transmission tower Engineering**

(初稿)

中国计划出版社

中国工程建设协会标准

输电杆塔结构耐候钢应用技术规程

**Technical specification of Corrosion resistant steel
for Transmission tower Engineering**

CECS xxx : 202x

主编单位:中国船舶重工集团
国际工程有限公司
中冶建筑研究总院
有限公司

批准单位:中国工程建设标准
化 协 会
施行日期:202x 年 x 月 x 日

中国计划出版社

202x 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会（2020）建标协字第 014 号文《关于印发 2020 年第一批工程建设协会标准制定、修订计划的通知》的要求，制定本规程。

耐候钢具有优异的耐腐蚀性，是未来输变电塔工程领域的一种重要结构材料。为规范耐候钢在输变电塔工程应用中的设计、制作、检验等技术要求，促进其进一步发展，规程编制组通过开展广泛的调研和科研工作，总结和采用了国内外近期的研究成果和有关工程设计经验，并在广泛征求意见的基础上制定了本规程。

本规程共 7 章，主要内容是：总则、术语和符号、材料及设计指标、结构分析、连接与节点、防腐蚀设计、制作、安装、验收和维护。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求，推荐给工程建设设计、施工和使用单位采用。

本规程由中国工程建设标准化协会结构焊接专业委员会 CECS/TC-15 归口管理，由中国船舶重工集团国际工程有限公司（北京市朝阳区双桥中路北院 1 号，邮编：100121）负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处，请将意见和资料径寄解释单位。

主 编 单 位：中国船舶重工集团国际工程有限
公司

中冶建筑研究总院有限公司

参 编 单 位：暂略

主要起草人： 暂略

中国工程建设标准化协会

202x 年 x 月 x 日

目录

前 言	1
1 总 则	1
2 术语和符号	1
2.1 术 语	1
2.2 符 号	2
3 材料及设计指标	4
3.1 钢材牌号及标准	4
3.2 材料选用	4
3.3 设计指标与设计参数	9
4 结构设计	16
4.1 一 般 要 求	16
4.2 结 构 分 析	17
5 构件设计与连接	20
5.1 一般规定	20
5.2 受弯构件	20
5.3 轴心受力构件	21
5.4 压弯、拉弯构件	23
5.5 局部稳定	23
5.6 节点的连接	24
5.7 柱脚设计	25
6 防腐蚀设计	27
6.1 一般规定	27
6.2 防腐措施及要求	28
7 制造、安装、验收和维护	31
7.1 一般规定	31

7.2 制造与安装.....	32
7.3 验收和维护.....	33
附录 A.....	35
本规程用词说明.....	38
引用标准名录.....	39
附条文说明.....	41

Contents

Introduction	1
1 General provisions.....	1
2 Terms and symbols	1
2.1 Terms	1
2.2 Symbols	2
3 Material and design specifications	4
3.1 Steel grades and standards	4
3.2 Material selection	4
3.3 Design index and parameter	9
4 Structural design.....	16
4.1 Structural design.....	16
4.2 Structure analysis.....	17
5 Component design and connection.....	20
5.1 General requirement	20
5.2 Bending member	20
5.3 Axial bearing member	21
5.4 Compression-flexure and tension-flexure member	23
5.5 Local stability	23
5.6 Connection design	24
5.7 Column base design.....	25
6 Corrosion proof design	27
6.1 General requirement	27
6.2 Anti-corrosion measures and requirements	28
7 Manufacture, installation, acceptance and maintenance.....	31
7.1 General requirement	31

7.2	Manufacture and installation	32
7.3	Acceptance and maintenance.....	33
Appendix A		35
Explanation of wording in this specification		38
List of quoted standards		39
Clause explanation		41

1 总 则

1.0.1 为耐候钢在输变电塔工程的设计、制作、验收中贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、安全适用、经济合理，并充分发挥耐候钢在抗腐蚀性能方面的显著优势，制定本规程。

条文说明：无。

1.0.2 本规程适用于使用耐候钢新建输变电塔工程的设计、施工、验收和维护。

条文说明：本标准规定了采用耐候钢新建输变电塔工程的结构设计、防腐蚀设计的基本原则和方法，包括制造、安装、验收和维护的基本内容。

1.0.3 耐候钢输变电塔的设计、施工、验收和维护，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 耐候钢 Weathering steel

指在普通钢中加入一定数量的合金元素，如 Cu、P、Cr、Ni、Mo 等，使其在金属基体表面形成保护层，以提高耐大气腐蚀性能的钢。

条文说明：耐候钢代号：NH

2.1.2 输变电塔 Transmission tower

支持高压或超高压架空送电线路的导线和避雷线的高耸构筑物。

2. 1. 3 法兰 flange

也称法兰盘或凸缘，是钢管与钢管互相连接的零件，连接与管端；法兰上有孔眼，可通过螺栓连接两个法兰。

2. 1. 4 设计使用年限 design working life

设计规定的结构或结构构件不需要进行大修即可按其预定目的使用的时期。

2. 1. 5 热喷涂 metallic thermospray

是指将涂层材料加热熔化，用高速气流将其雾化成极细的颗粒，并以很高的速度喷射到工件表面，形成涂层。根据需要选用不同的涂层材料。

条文说明：本规程给出了输变电塔耐候钢结构工程应用与设计相关的专用术语。所汇总专业术语从钢结构设计以及防腐蚀设计的角度赋予其特定的涵义，但不一定是其严密的定义。

2. 2 符 号

2. 2. 1 作用和作用效应设计值

M_x 、 M_y —绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值；

N —轴心拉力或轴心压力设计值；

V_s —轴心受压构件的剪力；

W_x 、 W_y —绕 x 轴和 y 轴的截面抵抗距；

f —钢材的强度设计值；

E —钢材的弹性模量；

f_y —钢材的强度标准值；

φ —轴心受压构件稳定系数；

K —构件长细比修正系数；

L_0 —构件计算长度；

r —回转半径；
 λ_x —构件绕 $x-x$ 轴的长细比；
 N_{EX} —参数。
 A_n —净截面面积；
 μ_d —局部稳定修正系数；
 D/t —塔径厚比；
 I —耐候钢耐大气腐蚀性指数。

条文说明：本规程给出了常用符号并分别作出了定义，这些符号都是本规程各章节中所引用的，并按拉丁字母和希腊字母顺序排列。。每个符号由主体符号或主体符号带上、下标构成。主体符号一般代表物理量，上、下标代表物理量以外的术语、说明语，用以进一步说明符号的涵义。本节未列出的其他符号及其含义均在各章节的条文中列出。

3 材料及设计指标

3.1 钢材牌号及标准

3.1.1 耐候钢材宜采用 Q235NH、Q295NH、Q355NH、Q415NH、Q465NH、Q500NH、Q550NH 及 Q265GNH、Q295GNH、Q310GNH、Q355GNH，其质量应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171、《焊接结构用耐候钢》GB / T 4172 的有关规定。

条文说明：耐候钢材应为按国家或行业标准所规定的的性能、技术与质量要求生产的钢材。结构用钢板、热轧工字钢、槽钢、角钢、H 型钢和钢管等型材产品的规格、外形、重量及允许偏差应满足现行标准《建筑结构用钢板》GB/T 19879、《冷轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 708、《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 等的有关规定。

3.1.2 结构用直缝耐候焊接钢管，其质量应符合现行标准《结构用耐候焊接钢管》YB/T4112 的规定。

条文说明：该标准规定了高强度耐候钢焊接钢管的尺寸、外形、质量及允许偏差、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志及质量证明书。

3.1.3 焊接承重结构为防止耐候钢材的层状撕裂而采用 Z 向钢时，其质量应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的规定。

3.1.4 当采用本标准未列出的其他牌号钢材时，宜按照现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 进行统计分析，研究确定其设计指标及适用范围。

3.2 材料选用

3.2.1 耐候钢选用应符合设计文件的要求，并应具有钢厂出具的产品质量合格证明书或检验报告。

条文说明：本条规定了结构工程应用中耐候钢应具有力学性能和化学成分等合格保证的项目，其化学成分、力学性能和其他质量要求应符合现行国家标准的规定。

3.2.2 当结构工作温度不高于 -40° 时，耐候钢材质量等级应满足不低于 C 级钢的质量要求，当采用 Q460 以上耐候钢质量等级应满足不低于 D 级钢的质量要求。

条文说明：本条结合国内外工程应用经验及国产耐候钢生产情况，推荐提出了按中国标准生产牌号的耐候钢。当有充分可靠的依据时，也可选用其他牌号的耐候钢。本条也规定了当结构工作温度不高于 -40° 时钢材质量等级要求。

3.2.3 耐候钢焊接用焊条应符合现行国家标准《非金属材料及细晶粒钢焊条》 GB/T 5117 有关耐候钢焊条，现行国家标准《不锈钢焊条》 GB 983 有关不锈钢焊条。

3.2.4 耐候钢焊接用焊丝应符合现行国家标准《耐蚀合金焊丝》 GB/T37612、《耐蚀合金焊带和焊丝通用技术条件》 GB/T37609 有关规定。

3.2.5 耐候钢的焊接，选用的焊条或焊丝和相应的焊剂型号及性能应与选用的耐候钢力学性能相适应，其熔敷金属的力学性能应符合设计规定，且不应低于相应耐候钢母材标准的下限值，并应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》 GB 50661 的规定。

3.2.6 当耐候钢焊接接头按无涂装使用设计时，焊接材料应由权威机构认证其耐候性。

3.2.7 耐候钢与其他不同化学成分钢材不宜组焊。

条文说明：化学成分不同会导致不同钢材间形成电势差，诱发腐蚀，如普通钢材、耐蚀钢等。故耐候钢

与其他不同化学成分钢材不宜组焊。

3.2.8 耐候钢螺栓、螺母和垫圈的配合宜按照现行标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230 的有关规定执行。

3.2.9 Q235NH~Q550NH 的化学成分应符合表 3.2.9 的规定

表 3.2.9 Q235NH~Q550NH 的化学成分表

钢级	质量等级	化学成分(质量分数)/%								其他元素
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	
Q235NH	B	≤0.13 f	0.10 ~0.40	0.20 ~0.60	≤0.035	≤0.030	0.25 ~0.55	0.40 ~0.80	≤0.65	a, b
	C				≤0.030	≤0.025				
	D				≤0.025	≤0.020				
	E				≤0.020	≤0.015				
Q295NH	B	≤0.15	0.10 ~0.50	0.30 ~1.00	≤0.035	≤0.030	0.25 ~0.55	0.40 ~0.80	≤0.65	a, b
	C				≤0.030	≤0.025				
	D				≤0.025	≤0.020				
	E				≤0.020	≤0.015				

Q29 5GN H	B	≤ 0 .12	0.10 ~0.4 0	0.20 ~0.5 0	0.07 ~0.1 2	≤ 0 . 030	0.25 ~0.4 5	0.30 ~0.6 5	0.25 ~0.5 0 ^e	a, b
	C					≤ 0 . 025				
	D					≤ 0 . 020				
	E					≤ 0 . 015				
Q35 5NH	B	≤ 0 .16	$\leq$ 0.50	0.50 ~1.5 0	≤ 0 . 35	≤ 0 . 030	0.25 ~0.5 5	0.40 ~0.8 0	≤ 0 .6 5	a, b
	C					≤ 0 . 30				
	D					≤ 0 . 25				
	E					≤ 0 . 20				
Q35 5GN H	B	≤ 0 .12	0.20 ~0.7 5	≤ 1 .0 0	0.07 ~0.1 5	≤ 0 . 030	0.25 ~0.5 5	0.30 ~1.2 5	≤ 0 .6 5	a, b
	C					≤ 0 . 025				
	D					≤ 0 . 020				
	E					≤ 0 . 015				
Q41 5NH	C	≤ 0 .12	$\leq$ 0.65	≤ 1 .1 0	≤ 0 . 30	≤ 0 . 025	0.20 ~0.5 5	0.30 ~1.2 5	0.12 ~0.6 5 ^e	a, b, c
	D				≤ 0 . 25	≤ 0 . 020				

	E				≤ 0.0 20	≤ 0.015 d				
Q46 0NH	C				≤ 0.0 30	≤ 0.025				
	D	≤ 0.12	≤ 0.65	≤ 1.5 0	≤ 0.0 25	≤ 0.020	0.20 ~0.5 5	0.30 ~1.2 5	0.12 ~0.6 5 ^e	a, b, c
	E				≤ 0.0 20	≤ 0.015 d				
Q50 0NH	C				≤ 0.0 30	≤ 0.025				
	D	≤ 0.12	≤ 0.65	≤ 2.0	≤ 0.0 25	≤ 0.020	0.20 ~0.5 5	0.30 ~1.2 5	0.12 ~0.6 5 ^e	a, b, c
	E				≤ 0.0 20	≤ 0.015 d				
Q55 0NH	C				≤ 0.0 30	≤ 0.025				
	D				≤ 0.0 25	≤ 0.020				
	E	≤ 0.16	≤ 0.65	≤ 2.0	≤ 0.0 20	≤ 0.015 d	0.20 ~0.5 5	0.30 ~1.2 5	0.12 ~0.6 5 ^e	a, b, c
	F				≤ 0.0 20	≤ 0.010				
经供货双方协商，碳当量或焊接裂纹敏感指数由供需双方协议确定。未要求时，可不做；未指定碳当量或焊接裂纹敏感指数时，供方可任选其一。										

- a 为了改善钢的性能，可以添加一种或一种以上的微量合金元素：
 铌：0.015%~0.060%，钒：0.02%~0.12%，钛：0.02%~0.10%，全
 铝含量不小于 0.020%，若上述元素组合使用时，应至少保证其中
 一种元素含量达到上述化学成分的下限规定。
- b 可以添加下列合金元素：铝含量不小于 0.30%，锆含量不小于
 0.15%。
- c Nb、V、Ti 等三种合金元素的添加总量不应超过 0.22%。
- d 供需双方协商，硫的含量可以不大于 0.008%。
- e 供需双方协商，镍含量的下限可不作要求。
- f 供需双方协商，碳的含量可以不大于 0.15%。

3.2.10 10.9S 级和 8.8S 级的耐候钢高强螺栓的化学成分可参照表 3.2.10。

表 3.2.10 10.9S 和 8.8S 级耐候钢高强螺栓的化学成分

螺 栓 、 螺 母 、 垫 圈	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	I
	0.2 0~ 03 0	≤ 0. 2 5	0.3 0~0 .75	≤0 .0 12	≤0 .0 05	0.6 0~0 .90	0.3 0~0 .50	0.3 0~0 .50	0.01 5~0. 040	≤0 .0 30	≥ 6 · 5

3.3 设计指标与设计参数

3.3.1 耐候钢材的性能指标应符合现行标准《耐候结构钢》GB/T 4171、《焊接结构用耐候钢》GB / T 4172 的有关规定。

3.3.2 耐候钢及其连接材料的强度设计值应按现行国家标准《1000Kv 架空输电线路设计规范》GB 50665、《±800Kv 直流电架空输电线路设计规范》GB 50665 的有关规定执行。

条文说明：耐候钢连接材料的强度设计值与耐候钢材本身并无直接关系，本条建议与现行国家标准有关规定保持一致。

3.3.4 耐候高强螺栓的力学性能不应低于同等级的高强螺栓。

3.3.5 耐候钢材的力学性能和工艺性能应符合表3.3.5的有关规定。

表 3.3.5 耐候钢材的力学性能和工艺性能要求

牌号	拉伸试验 ^a									180°弯曲 试验弯心 直径		
	下屈服强度 R _{eL} /(N/mm ²)不小于				抗拉 强度 R _m /(N/ mm ²)	断后伸长率 A/% 不小于						
	≤ 16 6	> 16 ~4 0	> 40 ~6 0	> 6 0		≤ 16 6	> 16 ~4 0	> 40 ~6 0	> 6 0	≤ 6	> 6~ 16	> 1 6
Q235 NH	235	225	215	215	360~510	25	25	24	23	a	a	2a
Q295 NH	295	285	275	255	430~560	24	24	23	22	a	2a	3a
Q295 GNH	295	285	—	—	430~560	24	24	—	—	a	2a	3a
Q355 NH	355	345	335	325	490~630	22	22	21	20	a	2a	3a

Q355 GNH	3 5 5	34 5	—	—	490~6 30	2 2	22	—	—	a	$2a$	3 a
Q415 NH	4 1 5	40 5	39 5	—	520~6 80	2 2	22	20	—	a	$2a$	3 a
Q460 NH	4 6 0	45 0	44 0	—	570~7 30	2 0	20	19	—	a	$2a$	3 a
Q500 NH	5 0 0	49 0	48 0	—	600~7 60	1 8	16	15	—	a	$2a$	3 a
Q550 NH	5 5 0	54 0	53 0	—	620~7 80	1 6	16	15	—	a	$2a$	3 a
Q265 GNH	2 6 5	—	—	—	≥ 410	2 7	—	—	—	a	—	—
Q310 GNH	3 1 0	—	—	—	≥ 450	2 6	—	—	—	a	—	—
注： a 为钢材厚度。 ^a 当屈服现象不明显时，可以采用 $R_{p0.2}$												

3. 3. 6 耐候钢高强螺栓力学性能应符合表 3.3.6 的有关规定。

表 3.3.6 耐候钢高强螺栓力学性能要求

螺栓 等级	抗拉强 度	非比例 延伸强	断后 伸长	断后 收缩	冲击吸 收功	维氏 硬度	洛氏 硬度
----------	----------	------------	----------	----------	-----------	----------	----------

	Ra/MPa	度 R _{a0.2} /MPa	率 A/%	率 Z/%	A _{KU2} /J	HV30	HRC
国标 8.8S 级	830~1030	≥660	≥12	≥45	≥63	249~296	24~31
国标 10.9 S级	1040~1240	≥940	≥10	≥42	≥47	312~367	33~39
注：当螺栓的材料直径 16mm 时，根据用户要求，进行常温冲击试验。							

3.3.7 耐候钢强度设计值可按表 3.3.7 采用。

表 3.3.7 耐候钢强度设计值（N/mm²）

钢号	厚度 t	屈服强度	抗拉强度	抗剪强度	承压强度
Q235NH	t≤16	235	216	125	295
	16<t≤40	225	207	120	
	40<t≤60	215	198	115	
	t>60	215	198	115	
Q295NH	t≤16	295	271	157	344
	16<t≤40	285	262	152	
	40<t≤60	275	253	147	
	t>60	255	235	136	
Q355NH	t≤16	355	327	189	402

	16< t≤40	345	317	184	
	40< t≤60	335	308	179	
	t>60	325	299	173	
Q460NH	t≤16	460	414	240	451
	16< t≤40	450	405	235	
	40< t≤60	440	396	230	
	t>60	430	387	224	
Q295GNH（热轧）	t≤6	295	271	157	320
	t>6	295	271	157	
Q295GNHL （热轧）	t≤6	295	271	157	353
	t>6	295	271	157	
Q345GNH（热轧）	t≤6	345	317	184	361
	t>6	345	317	184	
Q345GNHL （热轧）	t≤6	345	317	184	394
	t>6	345	317	184	
Q390GNH（热轧）	t≤6	390	359	208	402
	t>6	390	359	208	
Q295GNH（冷轧）	t≤2.5	260	239	139	320
Q295GNHL （冷轧）	t≤2.5	260	239	139	320
Q345GNHL （冷轧）	t≤2.5	320	294	171	369

3.3.8 耐候钢连接材料的强度设计值应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 执行。（焊接、高强螺栓？）

条文说明：耐候钢连接材料的强度设计值与耐候钢材本身并无直接关系，本条建议与现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定保持一致。

3.3.9 耐候钢的物理性能指标应按表 3.3.9 采用。

表 3.3.9 耐候钢的物理性能指标

弹性模量 E (N/mm^2)	剪变模量 G (N/mm^2)	线膨胀系数 α (以每 $^{\circ}\text{C}$ 计)	质量密度 ρ (kg/m^3)
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850

3.3.10 输变电塔耐候钢适用于农村大气及城郊大气腐蚀环境。

条文说明：大气腐蚀环境占总腐蚀环境的一半以上。按地区条件和大气特征，大气腐蚀环境可以分为农村大气、城郊大气、海洋大气、工业大气。由于阳极控制是大气腐蚀的主要因素，因此合金化对提高钢的耐蚀性有较大效果，合金元素中以 Cu、P、Cr 元素的效果最为明显。耐候钢为耐大气腐蚀低合金钢，其最有效元素是 Cu，一般含量 0.2%~0.5%左右。对于在海洋大气或工业大气中使用时，建议采用耐海水腐蚀低合金钢或工业环境耐腐蚀低合金钢。

3.3.11 大气环境对钢结构长期作用下的环境腐蚀性分类可按表 3.3.11 进行确定。

表 3.3.11 钢材暴露第一年的腐蚀速率进行环境腐蚀性分类

腐蚀性级别	钢材的腐蚀速率
-------	---------

	单位	钢材
C1	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	$r_{\text{corr}}\leq 10$
	$\mu\text{m}/\text{a}$	$r_{\text{corr}}\leq 1.3$
C2	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	$10< r_{\text{corr}}\leq 200$
	$\mu\text{m}/\text{a}$	$1.3< r_{\text{corr}}\leq 25$
C3	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	$200< r_{\text{corr}}\leq 400$
	$\mu\text{m}/\text{a}$	$25< r_{\text{corr}}\leq 50$
C4	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	$400< r_{\text{corr}}\leq 650$
	$\mu\text{m}/\text{a}$	$50< r_{\text{corr}}\leq 80$
C5	$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$	$650< r_{\text{corr}}\leq 1500$
	$\mu\text{m}/\text{a}$	$80< r_{\text{corr}}\leq 200$

条文说明：国家标准 GB/T 19292.1 规定了确定金属和合金大气腐蚀的关键因素包括大气潮湿时间、二氧化硫污染物含量和空气盐含量。根据这三个因素，按金属标准试样腐蚀速率，确定大气的腐蚀性分为 5 个等级，即 C1：腐蚀很低；C2：低；C3：中；C4：高；C5：很高。该腐蚀等级直接与 ISO12944《钢结构的保护涂层腐蚀防护》标准相对应，C1~C5 规定了不同的涂料系统和干膜厚度。

4 结构设计

4.1 一般要求

4.1.1 输变电塔架设计应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《1000Kv 架空输电线路设计规范》GB 50665、《 ± 800 Kv 直流电架空输电线路设计规范》GB 50665 的有关规定。

4.1.2 荷载取值应符合现行标准《架空输电线路钢管塔设计技术规定》DL/T5254、《架空输电线路杆塔结构设计及试验技术规定》Q/GDW11654 的有关规定。

条文说明：

4.1.3 输变电塔架结构体系的选用应结合体系的适用性、结构的合理性、施工工艺的可行性及结构的经济性等因素综合确定。

4.1.4 输变电塔架为空间结构，应采用三维计算模型程序进行内力分析。输变电塔架中各构件的中轴线宜交汇于一点，结构体系中的节点连接应可靠，并便于施工。地震作用下节点区域不应先于相邻构件屈服。

条文说明：强调塔架设计要采用三维程序电算内力，施工图要与计算图严格保持一致，绘制施工图时不得轻易改动结构布置，或添加未经计算和可能影响受力的杆件。

4.1.5 输变电塔架中杆件内力计算应符合下列规定：

- 1 计算桁架杆件轴力时可采用节点铰接假定；
- 2 采用节点板连接的桁架腹杆及荷载作用于节点的弦杆，其杆件截面为单角钢、双角钢或 T 形钢时，可不考虑节点刚性引起的弯矩效应。

3 当输变电塔采用钢管塔的主材长径比不小于 12，斜材的长径比不小于 24 时，可按照空间桁架铰接体系进行结构内力分析。

4 当输变电塔采用 H 形或箱型截面时应考虑节点刚性引起的钢管次弯矩的不利影响。

4.1.6 当结构二阶效应系数大于 0.1 时，需要进行二阶效应分析。

4.1.7 对于承受疲劳动力作用的输变电塔结构应进行抗疲劳设计。

4.1.8 中重冰区各类输变电杆塔在覆冰工况下，均应计入构件覆冰对杆塔构件的影响。

4.1.9 输变电应根据重覆冰线路的特点进行设计：

- 1 拉线杆塔的根部结构宜为铰接支承；
- 2 不应采用转动横担或变形横担；

3 110kV 线路 30° 以上转角杆塔和 220kV 及以上线路耐张型杆塔宜采用自立式杆塔。

4.1.10 计算长短腿输变电杆塔时，应对所选定的各种长短腿配置方式，按工程设计的全部荷载组合情况进行计算。

条文说明：

4.2 结 构 分 析

4.2.1 计算输变电各类杆塔用的可变荷载组合系数。应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 计算各类杆塔用的可变荷载组合系数

正 常 运 行 情况	断线情况	安装情况	不均匀冰 荷载情况	验算情况
1.00	0.90	0.90	0.90	0.75

4.2.2 输变电耐候钢杆塔承载力抗震调整系数，应符合表 4.2.2 的规定。

表 4.2.2 输变电杆塔承载力抗震调整系数

结构构件	承载力抗震调整系数
跨越塔	0.85
除跨越塔外的其他杆塔	0.80
焊缝和螺栓	1.00

4.2.3 不带拉线的悬垂型输电变杆塔，在纵向荷载情况下计算时，可计及顺线路方向的底线支持力作用。但最大支持力不得大于底线线夹的允许握着力，并留一定的裕度。

4.2.4 一般输变电拉线杆塔，拉线受力按简化方法计算时，应乘以 1.05 增大系数。

4.2.5 长期荷载效应组合（无冰、风速 5m/s 及年平均气温）情况、输变电塔的计算挠度（不包括基础倾斜和拉线点位移），应符合表 4.2.5 的规定：

表 4.2.5 输变电塔的计算挠度

项目		输变电塔的计算挠度限值
悬垂直线拉线杆塔的杆（塔）顶		$4h/1000$
悬垂直线拉线杆塔、拉线点以下杆（塔）身		$2h_1/1000$
悬垂直线自立杆式塔		$3h/1000$
悬垂转角自立式杆塔		$5h/1000$
耐张转角及终端自立式杆塔		$7h/1000$
转角和终端 钢管杆	66kV 及以下 电压等级	$15h/1000$
	110kV~220kV 电压等级	$20h/1000$

注：1 h 为杆塔最长腿基础顶面起至计算点的高度； h_1 为杆塔拉线点至地面的高度；

2 设计时应根据输变电塔的特点提出施工预偏的要求。

条文说明：杆塔挠度由荷载、施工和长期运行等原因产生，而从设计上只能控制由荷载引起的挠度值。计算挠度限值的确定原则是使常用的杆塔结构尺寸在荷载的长期效应组合作用下一般能满足要求。

4.2.6 窄基输变电钢管塔应考虑变形引起的非线性效应。

条文说明：

4.2.7 横担长悬臂输电塔结构宜按节间单独分析计算风振系数。

条文说明：具有长悬臂横担的结构在设计中全塔不宜采用统一风振系数，应按高度按节间采用不同的风振系数，尤其对横担长悬臂结构按节间单独分析计算。

4.2.8 安全等级为一级的输变电塔结构应进行偶然荷载下的抗连续倒塌分析。

条文说明：近年来国内外已经发生了多起输电塔塔架结构联系倒塌的破坏事件，且每一起事故的发生都必然造成大规模的电网瘫痪。

5 构件设计与连接

5.1 一般规定

5.1.1 耐候钢主体结构的连接可采用螺栓连接或焊接等形式，对于构件、螺栓、焊缝等的计算和构造要求应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的有关规定。

条文说明：无

5.1.2 输变电钢管塔辅助材所提供的节点支撑力在被支撑构件轴线垂直方向上的投影，不小于被支撑主材的内力的 2%，不小于被支撑斜材内力的 5%。

条文说明：

5.1.3 全塔所有螺栓应采取防松措施。受拉螺栓及位于横担、顶架等易振动部位的螺栓，宜采取双帽防松措施。靠近地面的塔腿上的连接螺栓宜采取防卸措施。

条文说明：运行部门如无特殊要求，一般可在地面以上 8m 高度范围内塔腿的连接螺栓采取防卸措施。

5.1.4 受剪螺栓的螺纹不应进入剪切面。当无法避免螺纹进入剪切面时，应按净面积进行剪切强度验算。

条文说明：铁塔的连接螺栓，螺纹进入剪切面，不仅降低螺栓的承载力，而且大量螺栓进入剪切面还影响铁塔的变形。因此，设计时应使螺纹不进入剪切面。

5.1.5 钢管塔构造应尽量简洁，构件之间传力清晰，减小偏心，避免应力集中和材料三向受拉。

5.2 受弯构件

5.2.1 轴心受弯构件计算应符合现行标准《架空输电线杆塔结构设计规定》DL/T 5254、《架空输电线路杆塔结构设计及试验技术规定》Q/GDW11654 的有关规定。

5.2.2 受弯构件的计算：

$$\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq f \quad (5.2.2)$$

式中： M_x 、 M_y —绕 x 轴和 y 轴的弯矩设计值（N•mm）；

W_x 、 W_y —绕 x 轴和 y 轴的截面抵抗距（N•mm）；

f —钢材的强度设计值（N/mm²）。

5.3 轴心受力构件

5.3.1 轴心受力构件的强度计算应符合现行标准《架空输电线杆塔结构设计规定》DL/T 5254、《架空输电线路杆塔结构设计及试验技术规定》Q/GDW11654 的有关规定。

5.3.2 轴心受力构件的强度折减系数计算宜符合现行标准《特高压架输电线路杆塔结构设计规程》DL/T 5486 的有关规定。

5.3.3 轴心受压构件的稳定性计算、构件的计算长度应符合现行标准《架空输电线杆塔结构设计规定》DL/T 5254 的有关规定。

5.3.4 轴心受压构件的剪力计算：

$$V_s = \frac{N}{85\varphi} \sqrt{\frac{f_y}{235}} \quad (5.2.2)$$

式中： V_s —轴心受压构件的剪力（N）；

N —轴心拉力或轴心压力设计值（N）；

f_y —钢材的强度标准值（N/mm²）；

φ —轴心受压构件稳定系数，按《架空输电线杆塔结构设计规定》DL/T 5254 的有关规定确定。

条文说明：剪力 V_s 值可认为沿构件全长不变。对格构式轴心受压构件，剪力 V_s 应由承受剪力的缀材面（包括用整体板连接的面）分担。

5.3.5 输变电塔结构构件允许最大长细比应符合表 5.3.4 的规定：

表 5.3.5 构件允许最大长细比

项目	允许最大长细比
受压主材	$L_0/r \leq 150$
受压材	$K \cdot L_0/r \leq 200$
辅助材	$K \cdot L_0/r \leq 250$
受拉材（预应力的拉杆可不受长细比限制）	$L_0/r \leq 400$

注：1 K 为构件长细比修正系数，由附录 A 计算确定； L_0 为构件计算长度； r 为回转半径。

条文说明：本条是按我国杆塔设计经验并参照美国标准《输电线路角钢塔设计》ASCE 10-97 确定的。实际工程中塔身斜材长细比较大时，由于刚度较弱会引起自重下垂变形，故参照美国输电铁塔设计导则将一般受压材的最大允许长细比定为 200。

5.3.6 输变电塔拉线杆塔主体允许最大长细比应符合表 5.3.6 的规定：

表 5.3.6 拉线杆塔允许最大长细比

项目	允许最大长细比
耐张转角和终端杆塔	160
单柱拉线杆塔主柱	80
双柱拉线杆塔主柱	110

5.4 压弯、拉弯构件

5.4.1 压弯构件弯矩平面内的稳定性计算、拉弯构件的弯矩平面内强度计算应符合现行标准《架空输电线杆塔结构设计规定》DL/T 5254 的有关规定。

5.4.2 压弯构件弯矩平面内的稳定性计算：

$$\frac{N}{\varphi \cdot m_N \cdot A} + \frac{M}{W \cdot (1 - 0.8 \frac{N}{N_{EX}})} \leq f \quad (5.4.2-1)$$

$$N_{EX} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_x^2) \quad (5.4.2-2)$$

式中： M —弯矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；

W —截面抵抗矩（ mm^3 ）；

E —钢材的弹性模量（ N/mm^2 ）；

λ_x —构件绕 x - x 轴的长细比；

N_{EX} —参数。

5.4.3 拉弯构件弯矩平面内的强度计算：

$$\frac{N}{m \cdot A_n} \pm \frac{M}{W} \leq f \quad (5.4.3)$$

式中： M —弯矩设计值（ $N \cdot mm$ ）；

W —截面抵抗矩（ mm^3 ）；

A_n —净截面面积。

5.5 局部稳定

5.5.1 输变电塔局部稳定计算应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《高耸结构设计标准》GB 50135 的有关规定。

5.5.2 输变电塔单圆钢管或多边形钢管塔径厚比 D/t 不宜大于 400。单管塔除应按本标中压弯构件的有关公式进行强度和稳定验算外，尚应进行局部稳定验算。

5.5.3 输变电单管塔受弯时，考虑到管壁局部稳定影响，当验算弯矩作用平面内稳定时，其设计强度 f 应乘以修正系数 μ_d 。 μ_d 应按公式(5.5.3-1)~公式(5.5.3-4)计算。

对 Q235NH:

$$\mu_d = \begin{cases} 1.0 & D/t \leq 140 \\ 0.566 + \frac{73.85}{D/t} - \frac{1832.5}{(D/t)^2} & 140 \leq D/t \leq 300 \end{cases} \quad (5.5.3-1)$$

对 Q345NH:

$$\mu_d = \begin{cases} 1.0 & D/t \leq 110 \\ 0.554 + \frac{66.62}{D/t} - \frac{1926.5}{(D/t)^2} & 110 < D/t \leq 245 \end{cases} \quad (5.5.3-2)$$

对 Q390NH:

$$\mu_d = \begin{cases} 1.0 & D/t \leq 107.8 \\ 0.5 + \frac{82.33}{D/t} - \frac{3064.6}{(D/t)^2} & 107.8 < D/t \leq 230 \end{cases} \quad (5.5.3-3)$$

对 Q420NH:

$$\mu_d = \begin{cases} 1.0 & D/t \leq 103.8 \\ 0.498 + \frac{79.25}{D/t} - \frac{2718}{(D/t)^2} & 103.8 < D/t \leq 220 \end{cases} \quad (5.5.3-4)$$

5.5.4 输变电塔的径厚比 D/t 大于公式(5.5.3-1)~公式(5.5.3-4)的范围时，应按本标准附录 B 计算单管塔的局部稳定。

5.6 节点的连接

5.6.1 螺栓连接、焊缝连接、法兰连接等节点连接应符合现行标准《架空输电线路钢管塔设计技术规定》DL/T5254、《架空输电线路杆塔结构设计及试验技术规定》Q/GDW11654、《输电线路钢管塔用法兰技术要求》DL/T1632 的有关规定。

5.6.2 承受疲劳动力作用且受拉或高频振动的对接焊缝及角接焊缝，宜采用一级焊缝；其他对接焊缝及角接焊缝可采用二级焊缝。所有对接焊缝宜与较薄母材等厚。对于操作空间狭小，无法按二级焊缝要求焊接的位置，允许采用熔透焊并按二级焊缝做外观检查。次要结构的焊缝可采用角焊缝，按二级焊缝做外观检查。

5.6.3 承受疲劳动力荷载的输变电塔结构应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 对焊缝相邻处的母材进行疲劳验算。

5.6.4 承受疲劳动力作用的高强螺栓的应力幅应按现行国家标准《高耸结构设计标准》GB50135 进行计算。

条文说明：本条规定了承受疲劳动力作用的高强螺栓的疲劳应力幅的计算方法，但实际螺栓连接中受压钢板面积很难计取，故用有限元或实测计取更为准确。

5.6.5 输变电塔钢管结构中的法兰连接应与结构整体计算模型相匹配，与施工条件相适应，与受力性质相对应。

条文说明：钢管结构中的主要连接方式之一是法兰连接，法兰连接的位置、形式与结构整体计算模式相关，与施工和维护条件相关，也与具体结构的受力特点有关。

5.6.6 圆钢管相贯连接计算应符合现行标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定。

5.6.7 焊缝布置应避免立体交叉和部分集中在一起，并尽可能对称于构件中心，设计中不应任意加大焊缝。

5.6.8 输电塔受拉角钢构件在单排螺栓情况下应进行块剪验算。

条文说明：单排螺栓情况下块剪对构件受拉承载力其控制作用，需验算块剪，特别是对一些小规格构件。

5.7 柱脚设计

5.7.1 输变电塔的塔脚板等柱脚节点设计应符合现行标准《架空输电线路钢管塔设计技术规定》DL/T5254、《架空输电线路杆塔结构设计及试验技术规定》Q/GDW11654 的有关规定。

5.7.2 输变电塔钢结构基础顶面的锚栓设计应符合下列规定：

1 锚栓设计应根据上部结构传到塔脚的上拔力或弯矩、水平力等进行，考虑安装构造要求并根据基础顶后浇混凝土情况进行必要验算；

2 塔脚底板安装后必须与下部混凝土支撑面贴合紧密，严禁长期悬空；当塔脚底板下设置后浇混凝土层时，应按压弯构件并考虑水平剪力，验算施工期悬空段锚栓的强度与稳定；

3 普通锚栓宜用双螺母防松；

4 普通锚栓埋设深度应根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定按受拉钢筋锚固要求确定。

6 防腐蚀设计

6.1 一般规定

6.1.1 输变电塔结构在微腐蚀环境下可以采用裸露的耐候钢材，并通过表 6.1.1 中的腐蚀速率进行结构板材厚度补充计算。

表 6.1.1 耐候钢腐蚀速率 um/a

使用环境	钢种	不同腐蚀时间下的速率			
		1a	2a	5a	8a
微腐蚀环境 C1	耐候钢	37.0	24.0	11.0	8.0

条文说明：输变电塔工程可以考虑采用裸露的耐候钢，但是当空气中含有某些特殊的化学物质或结构长时间与水接触、或一直裸露在潮湿空气中、或在海洋性气候中使用时，建议采用表面保护。环境类别 C1 参考 CECS 343 《钢结构腐蚀涂装技术规程》。

6.1.2 输变电塔工程的防腐措施宜符合现行国家标准《1000Kv 架空输电线路设计规范》GB 50665、《±800Kv 直流电架空输电线路设计规范》GB 50790 的有关规定。

6.1.3 输变电塔耐候钢工程应根据环境条件、结构形式、使用要求、施工条件和维护管理条件等进行防腐蚀设计计算。

条文说明：输变电塔工程防腐设计，应综合考虑结构的重要性、所处腐蚀介质环境、防腐使用年限要求和维护条件等要素，并在全寿命周期成本分析的基础上，选用性价比良好的长效防腐措施。

6.1.4 输变电塔耐候钢工程可采用增加腐蚀裕量、热喷涂金属涂层保护、以及联合保护等防腐蚀措施。

条文说明:

6.1.5 耐候钢耐大气腐蚀性指数 (I) 计算公式如下:

$$I = 26.0 (\% \text{ Cu}) + 3.88 (\% \text{ Ni}) + 1.20 (\% \text{ Cr}) + 1.49 (\% \text{ Si}) + 17.28 (\% \text{ P}) - 7.29 (\% \text{ Cu}) (\% \text{ Ni}) - 9.10 (\% \text{ Ni}) (\% \text{ P}) - 33.39 (\% \text{ Cu})^2$$

(6.1.5)

6.2 防腐措施及要求

6.2.1 热喷涂金属材料宜选用锌、铝、铝镁合金或锌铝合金、稀土铝。

条文说明: 金属热喷涂对钢材的保护机理主要是: 隔离腐蚀介质对钢材的侵蚀; 通过金属层本身的牺牲起到阴极保护作用。

6.2.2 金属热喷涂用的封闭剂应具有较低的黏度, 应与金属涂层具有良好的相容性。

条文说明: 金属热喷涂系统的性能是由高质量的施工, 包括表面处理、使用的材料、施工设备以及施工技术 etc 来保证的

6.2.3 热喷涂防腐蚀涂层体系应符合现行标准《热喷涂金属和其他无机覆盖层锌、铝及其合金》GB/T 9793 的有关规定。

6.2.4 热镀锌附着量应根据构件的使用寿命确定。

条文说明: 热镀锌构件的使用寿命与镀锌层的附着量有直接的关系。在不同地区, 若要求相同的使用寿命, 对镀锌附着量的要求也不同。

6.2.5 焊条、螺栓、垫圈、节点板等连接构件的耐腐蚀性能，不宜低于主体材料。

条文说明：构件的连接材料，如焊条、螺栓、节点板等，其耐腐蚀性能（包括防护措施）不宜低于主体材料，以保证结构的整体性。弹簧垫圈（如防松垫圈、齿状垫圈）容易产生缝隙腐蚀。

6.2.6 进行涂装的钢材，都应进行表面处理涂层。

条文说明：表面处理包括涂装施工时的前道涂层、维修涂装时的旧涂层、特殊的锌涂层表面、热浸锌涂层表面、金属热喷涂表面。

6.2.7 钢材表面处理喷射用磨料应符合现行国家标准《金属磨料金属要求》GB/T 18838、《非金属磨料技术要求》GB/T 17850 的有关规定。

条文说明：磨料的选择是表面清理中的重要环节，喷射清理所用的磨料应清洁、干燥。

6.2.8 金属热喷涂的方法可采用火焰喷法、电弧喷法、等离子喷涂法、超音速等离子喷涂法。

条文说明：火焰喷是利用乙炔和央企进行燃烧融化金属丝并且利用空气作为动力吹覆到钢材表面的原理。电弧喷是利用金属丝电源正负极端部产生电弧而融化，通过位于两个线材喷嘴中间的空气嘴喷出压缩空气，是的融化的线材雾化而喷射到钢材表面。等离子和超音速等离子金属喷涂就是一种压缩电弧，温度可达 30000K，而且除了可喷线材外，还可以喷涂金属粉末，速度更快，涂层硬度高，一般在工厂智能化机器人使用较多。

6.2.9 采用热镀法时，应严格控制镀层的粘附性，控制好镀层液温度、浸镀时间及镀层厚度。

条文说明：构件热镀前，应进行充分酸洗、漂洗。热镀后，

应充分烘干。热浸镀简称热镀，是将构件浸在熔融的液态金属中，在工作表面发生一系列物理和化学反应，取出冷却后表面所需的金属镀层。这种涂覆主要用来提高构件的防护能力，延长使用寿命。热镀的质量与镀层的粘附性有关，镀层厚度一般不小于 35um。

7 制造、安装、验收和维护

7.1 一般规定

7.1.1 耐候钢管塔加工、运输、安装技术要求应符合现行标准《输电线路铁塔制造技术条件》GB/T2694、《输变电钢管结构制造技术条件》DL/T 646、《架空输电线路钢管塔运输施工工艺导则》Q/GDW10351 的有关规定。

条文说明：

7.1.2 耐候钢管塔设计时，单件重量、长度、宽度应满足加工制造、运输和安装的设备要求。

条文说明：构件的单重不宜超过 10t；构件宽度不宜超过 2m；构件长度设计宜控制在 12m 以下。

7.1.3 耐候钢管塔的管材采用无缝钢管或直缝焊管。

条文说明：直缝钢管直径不大于 800mm 时最多允许有一条纵向焊缝，焊管直径大于 800mm 时最多允许有两条纵向焊缝，焊管直径大于 1600mm 时最多允许有 3 条纵向焊缝。纵向焊缝尽量布置在沿塔身对角线方向以避开其他焊缝。

7.1.4 输变电塔耐候钢工程施工质量验收以及检测和维护，应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《110kV~750kV 架空输电线路施工及验收规范》GB 50233、《1000kV 架空输电线路施工及验收规范》Q/GDW1153 的有关规定。

条文说明：无。

7.1.5 防腐施工前表面处理的验收可按现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923、金属热喷涂的验收可按现行国家标准《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》GB 11374、《金属和其他无机覆盖层热喷涂锌、铝及其合金》GB/T 9793 的有关规定执行。

7.1.5 输变电塔耐候钢工程设计应符合国家环境保护的有关法律法规。

条文说明：无。

7.2 制造与安装

7.2.1 耐候钢管塔组立应有完整的施工技术设计。

条文说明：无。

7.2.2 当采用相贯焊接时，钢管端部应采用自动相贯线切割机切割以满足加工精度和焊接工艺要求，并且沿全周连续和平滑焊接。

条文说明：无。

7.2.3 钢管塔试组装可采用卧式或立式组装，采用分段组装时必须保证塔体试组装的连续性，附属设施应同步组装。

条文说明：

7.2.4 在钢管相贯处、法兰加劲板等容易积锌处，如需开镀锌工艺孔，开孔位置及开孔大小必须征得设计单位的同意。

条文说明：

7.2.5 钢管塔结构设计时应考虑安装用的施工预埋件、水平拉索和施工挂孔等，以方便施工安装。

条文说明：

7.2.6 现场临时存放或卸载运输铁塔构件时，应有防止构件变形损坏、镀锌磨损及表层污损的措施。

条文说明：

7.2.7 对于安装后不易进行复紧的长构件应在地面完成螺栓紧固，且应验收完毕后方可吊装。

条文说明：当组装有困难时，应查明原因，严禁强行组装。

7.2.8 铁塔各构件的组装应牢固，交叉处有空隙，应装设相应厚度的垫圈或垫板。

条文说明：当组装有困难时，应查明原因，严禁强行组装。

7.3 验收和维护

7.3.1 当现行标准对输变电塔耐候钢工程的拟验收项目未做明确规定时，应由建设单位组织设计、施工、监理等相关单位协商制定质量检验与验收要求，质量检验与验收应做好相关记录并存档。

条文说明：

7.3.2 输变电塔耐候钢工程质量检验与验收可按隐蔽工程验收、中间验收和竣工验收的规定项目、内容进行。

条文说明：“工程验收”包括“隐蔽工程验收”、“中间验收”和“竣工验收”3 个方式，其中“隐蔽工程验收”和“中间验收”无先后之分。也可分为工厂质量检验与验收、现场质量检验与验收和竣工验收三个阶段。

7.3.3 输变电塔耐候钢工程验收应包括下列内容：

- 1)杆塔部件、构件的规格及组装质量；
- 2)及钢管电杆焊接后的焊接弯曲度及焊口焊接质量；
- 3)钢管电杆的根开偏差、迈步及整基对中心桩的位移；
- 4)双立柱杆塔横担与主柱连接处的高差及主柱弯曲；
- 5)杆塔结构倾斜；
- 6)螺栓的紧固程度、穿向等；
- 7)拉线的方位、安装质量及初应力情况；
- 8)NUT 线夹螺栓、花篮螺栓的可调范围；
- 9)保护帽浇筑质量；
- 10)防沉层情况。

7.3.4 竣工验收应在隐蔽工程验收和中间验收全部合格后实施，竣工验收应验收实物质量，并应进行工程档案资料验收。

条文说明：强调工程档案资料是竣工验收的内容之一。

7.3.5 输变电塔耐候钢工程，应经施工、监理、设计、建设及运行各方共同确认合格后，该工程通过验收。

7.3.6 输变电塔耐候钢工程宜在钢结构构件的关键部位设置传感器，通过数字化手段实现运营维护的信息管理。

条文说明：增加了运用数字化手段实现运营维护。

7.3.7 对输变电塔耐候钢工程进行检查维护发现危及使用安全的问题时，应及时对危害使用安全的问题和处置情况向主管部门报告。

附录 A

A.0.1 角钢构件长细比修正系数 K :

- 1 两端双肢连接的主材长细比修正系数 $K=1$;
- 2 其他受压构件长细比修正系数按表 A.0.1-1 计算;

表 A. 0. 1-1 受压构件长细比修正系数 K

序号	杆件端部受力状况	长细比	长细比修正系数 K	适用构件举例
1	两端中心受压	$0 < L_0/r < 120$	1	双肢连接的构件
2	一端中心另一端偏心受压	$0 < L_0/r < 120$	$0.75 + 30/(L_0/r)$	1.一端双肢连接另一端单肢连接的构件; 2.交叉斜材
3	两端偏心受压	$0 < L_0/r < 120$	$0.5 + 60/(L_0/r)$	两端单肢连接的构件
4	两端无约束	$120 < L_0/r < 200$	1	单个螺栓连接的交叉斜材和单斜材
5	一端有约束	$120 < L_0/r < 225$	$0.762 - 28.6/(L_0/r)$	两个以上螺栓连接的交叉斜材
6	两端有约束	$120 < L_0/r < 250$	$0.615 - 46.2/(L_0/r)$	两端均有两个以上螺栓连接的构件

表 A. 0. 1-2 辅助材长细比修正系数 K

序号	杆件端部受力状况	长细比	长细比修正系数 K	适用构件举例
1	两端偏心受压	$0 < L_0/r < 120$	1	两端单肢连接的构件
2	两端无约束	$120 \leq L_0/r \leq 250$	1	单个螺栓连接的交叉斜材和单斜材
3	一端有约束	$120 \leq L_0/r \leq 290$	$0.762 - 28.6/(L_0/r)$	两个以上螺栓连接的交叉斜材
4	两端有约束	$120 \leq L_0/r \leq 330$	$0.615 - 46.2/(L_0/r)$	两端均有两个以上螺栓连接的构件

附录 B 单管塔局部稳定验算

B.0.1 当单管塔径厚比 D/t 超过本标准第 5.6.2 条公式 (5.6.2-1)~(5.6.2-4) 规定时, 单管塔局部稳定按下列公式验算:

$$\frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq \sigma_{cr} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\sigma_{cr} = \begin{cases} \frac{0.68}{\beta^2} f_y & \beta > \sqrt{2} \\ (0.909 - 0.375\beta^{1.2}) f_y & \beta \leq \sqrt{2} \end{cases} \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$\beta = \sqrt{\frac{f_y}{\alpha \sigma_e}} \quad (\text{B.0.1-3})$$

$$\sigma_e = 1.21 E \frac{t}{D} \quad (\text{B.0.1-4})$$

$$\alpha = \frac{\alpha_N \sigma_N + \alpha_B \sigma_B}{\sigma_N + \sigma_B} \quad (\text{B.0.1-5})$$

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (\text{B.0.1-6})$$

$$\sigma_B = \frac{M}{W} \quad (\text{B.0.1-7})$$

$$\alpha_N = \frac{0.83}{\sqrt{1 + D/(200t)}} \quad (\text{B.0.1-8})$$

$$\alpha_B = 0.189 + 0.811 \alpha_N \quad (\text{B.0.1-9})$$

式中: σ_{cr} —筒壁局部稳定临界应力(MPa);

f_y —钢材屈服强度(MPa);

t —计算截面壁厚(mm);

D —计算截面外直径(mm);

E —钢材的弹性模量(MPa)。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：

正面词采用“可”，反面词采用“不可”；

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定标准执行时，写法为“可参照……执行”。

引用标准名录

- 1 《钢结构焊接规范》 GB 50661
- 2 《不锈钢焊条》 GB 983
- 3 《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205
- 4 《1000Kv 架空输电线路设计规范》 GB 50665
- 5 《±800Kv 直流电架空输电线路设计规范》 GB 50790
- 6 《110kV~750kV 架空输电线路施工及验收规范》 GB 50233
- 7 《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》 GB 8923
- 8 《热喷涂涂层厚度的无损测量方法》 GB 11374
- 9 《高耸结构设计标准》 GB 50135
- 10 《耐候结构钢》 GB/T 4171
- 11 《焊接结构用耐候钢》 GB / T 4172
- 12 《非金属钢及细晶粒钢焊条》 GB/T 5117
- 13 《耐蚀合金焊丝》 GB/T37612
- 14 《耐蚀合金焊带和焊丝通用技术条件》 GB/T37609
- 15 《钢结构用高强度大六角头螺栓》 GB/T 1228
- 16 《钢结构用高强度大六角螺母》 GB/T 1229
- 17 《钢结构用高强度垫圈》 GB/T 1230
- 18 《热喷涂金属和其他无机覆盖层锌、铝及其合金》 GB/T 9793
- 19 《金属磨料金属要求》 GB/T 18838
- 20 《非金属磨料技术要求》 GB/T 17850
- 21 《输电线路铁塔制造技术条件》 GB/T2694
- 22 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》 JGJ 82
- 23 《架空输电线路钢管塔运输施工工艺导则》 Q/GDW10351
- 24 《1000kV 架空输电线路施工及验收规范》 Q/GDW1153
- 25 《输电线路钢管塔构造设计规定》 Q/GDW 1391
- 26 《输变电钢管结构制造技术条件》 DL/T 646

- 27 《架空输电线路杆塔设计技术规定》 DL/T 5154
- 28 《架空输电线杆塔结构设计规定》 DL/T 5254
- 29 《特高压架输电线路杆塔结构设计规程》 DL/T 5486
- 30 《输电线路钢管塔用法兰技术要求》 DL/T1632
- 31 《架空输电线路杆塔结构设计及试验技术规定》
Q/GDW11654
- 33 《结构用耐候焊接钢管》 YB/T4112-2013
- 34 《钢结构腐蚀涂装技术规程》 CECS 343
- 35 《格构式钢传输结构设计》 ASCE 10
- 36 《钢结构设计规范》 BS 5950
- 37 《建筑抗连续倒塌设计规范》 DOD
- 38 《输电线路钢管塔制作基准》 JSTA

附条文说明