



特高压直流工程建设管理实践与创新

TEGAOYA ZHILIU GONGCHENG JIANSHE GUANLI SHIJIAN YU CHUANGXIN

换流站工程建设 典型经验

国家电网公司直流建设分公司 编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

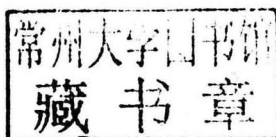


特高压直流工程建设管理实践与创新

TEGAOYA ZHILIU GONGCHENG JIANSHE GUANLI SHIJIAN YU CHUANGXIN

换流站工程建设 典型经验

国家电网公司直流建设分公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为全面总结十年来特高压直流输电工程建设管理的实践经验,国家电网公司直流建设分公司编纂完成《特高压直流工程建设管理实践与创新》丛书。本丛书分标准化管理、标准化作业指导书、典型经验和典型案例四个系列,共 12 个分册。

本书为《换流站工程建设典型经验》分册,共分电气篇、土建篇、设计篇、其他篇、党建与企业文化篇共 5 篇、166 个典型案例。每个案例由创新点及工艺亮点、实施要点、适用范围、小结等内容组成。

本丛书可用于指导后续特高压直流工程建设管理,并为其他等级直流工程建设管理提供经验借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

特高压直流工程建设管理实践与创新:换流站工程建设典型经验 / 国家电网公司直流建设分公司编. —北京:中国电力出版社, 2017.12

ISBN 978-7-5198-1590-5

I. ①特… II. ①国… III. ①特高压输电—直流换流站—工程施工 IV. ①TM726.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 318123 号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:刘 薇(010-63412357)

责任校对:常燕昆

装帧设计:张俊霞 左 铭

责任印制:邹树群

印 刷:北京大学印刷厂

版 次:2017 年 12 月第一版

印 次:2017 年 12 月北京第一次印刷

开 本:787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张:15.5

字 数:345 千字

印 数:0001—2000 册

定 价:120.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

《特高压直流工程建设管理实践与创新》丛书

编委会

主 任 丁永福
副 主 任 成 卫 赵宏伟 袁清云 高 毅 张金德
刘 皓 陈 力 程更生 杨春茂
成 员 鲍 瑞 余 乐 刘良军 谭启斌 朱志平
刘志明 白光亚 郑 劲 寻 凯 段蜀冰
刘宝宏 邹军峰 王新元

本书专家组

郭贤珊 黄 勇 杨子林 王 锋 谢洪平 卢理成 赵大平
杨 林 张 鹏 鍛 炼

本书编写组

组 长 赵宏伟
副 组 长 白光亚 谭启斌 邹军峰 张 诚 王茂忠
杨洪瑞 寻 凯 朱志平
成 员 (排名不分先后)
陈绪德 宋 明 徐剑峰 曹加良 宋 涛
徐 龙 王 瑶 杨培兴 李 勇 程怀宇
羊 勇 熊 雄 魏常信 潘励哲 张 鹏
孟凡领 陈 征 夏 雨 向雪松 马忠坤
陈瑞军 王丙楠 张勇军 李彦庆 严宇超
刘佳豪 王 富



特高压直流工程建设管理实践与创新

——换流站工程建设典型经验

序 言

建设以特高压电网为骨干网架的坚强智能电网，是深入贯彻“五位一体”总体布局、全面落实“四个全面”战略布局、实现中华民族伟大复兴的具体实践。国家电网公司特高压直流输电的快速发展以向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程为起点，其成功建成、安全稳定运行标志着我国特高压直流输电技术进入全面自主研发创新和工程建设快速发展新阶段。

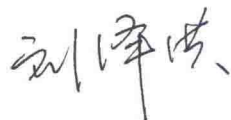
十年来，国家电网公司特高压直流输电技术和建设管理在工程建设实践中不断发展创新，历经±800kV 向上、锦苏、哈郑、溪浙、灵绍、酒湖、晋南到锡泰、上山、扎青等工程实践，输送容量从 640 万 kW 提升至 1000 万 kW，每千千米损耗率降低到 1.6%，单位走廊输送功率提升 1 倍，特高压工程建设已经进入“创新引领”新阶段。在建的±1100kV 吉泉特高压直流输电工程，输送容量 1200 万 kW、输送距离 3319km，将再次实现直流电压、输送容量、送电距离的“三提升”。向上、锦苏、哈郑等特高压工程荣获国家优质工程金奖，向上特高压工程获得全国质量奖卓越项目奖，溪浙特高压双龙换流站荣获 2016 年度中国建设工程鲁班奖等，充分展示了特高压直流工程建设本质安全和优良质量。

在特高压直流输电工程建设实践十年之际，国网直流公司全面落实专业化建设管理责任，认真贯彻落实国家电网公司党组决策部署，客观分析特高压直流输电工程发展新形势、新任务、新要求，主动作为开展特高压直流工程建设管理实践与创新的总结研究，编纂完成《特高压直流工程建设管理实践与创新》丛书。

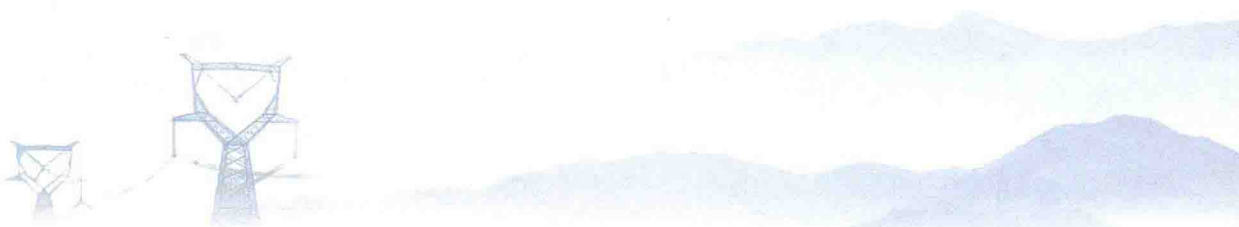
丛书主要从总结十年来特高压直流工程建设管理实践经验与创新管理角度出发，本着提升特高压直流工程建设安全、优质、效益、效率、创新、生态文明等管理能力，提炼形成了特高压直流工程建设管理标准化、现场标准化作业指导书等规范要求，总结了特高压直流工程建设管理典型经验和案例。丛书既有成功经验总结，也有典型案例汇编，既有管

理创新的智慧结晶，也有规范管理的要求，是对以往特高压输电工程难得的、较为系统的总结，对后续特高压直流工程和其他输变电工程建设管理具有很好的指导、借鉴和启迪作用，必将进一步提升特高压直流工程建设管理水平。丛书分标准化管理、标准化作业指导书、典型经验和典型案例四个系列，共 12 个分册 300 余万字。希望丛书在今后的特高压建设管理实践中不断丰富和完善，更好地发挥示范引领作用。

特此为贺特高压直流发展十周年，并献礼党的十九大胜利召开。

Handwritten signature in black ink, reading '刘泽洪' (Liu Zhenhong).

2017 年 10 月 16 日



特高压直流工程建设管理实践与创新

——换流站工程建设典型经验

前言

自 2007 年中国第一条特高压直流工程——向家坝—上海±800kV 特高压直流输电示范工程开工建设伊始，国家电网公司就建立了权责明确的新型工程建设管理体制。国家电网公司是特高压直流工程项目法人；国网直流公司负责工程建设与管理；国网信通公司承担系统通信工程建设管理任务。中国电力科学研究院、国网北京经济技术研究院、国网物资有限公司分别发挥在科研攻关、设备监理、工程设计、物资供应等方面的业务支撑和技术服务的作用。

2012 年特高压直流工程进入全面提速、大规模建设的新阶段。面对特高压电网建设迅猛发展和全球能源互联网构建新形势，国家电网公司对特高压工程建设提出“总部统筹协调、省公司属地建设管理、专业公司技术支撑”的总体要求。国网直流公司开展“团队支撑、两级管控”的建设管理和技术支撑模式，在工程建设中实施“送端带受端、统筹全线、同步推进”机制。在该机制下，哈密南—郑州、溪洛渡—浙江、宁东—浙江、酒泉—湘潭、晋北—南京、锡盟—泰州等特高压直流工程成功建设并顺利投运。工程沿线属地省公司通过参与工程建设，积累了特高压直流线路工程建设管理经验，国网浙江、湖南、江苏电力顺利建成金华换流站、绍兴换流站、湘潭换流站、南京换流站以及泰州换流站等工程。

十年来，特高压直流工程经受住了各种运行方式的考验，安全、环境、经济等各项指标达到和超过了设计的标准和要求。向家坝—上海、锦屏—苏州南、哈密南—郑州特高压直流输电工程荣获“国家优质工程金奖”，溪洛渡—浙江双龙±800kV 换流站获得“2016～2017 年度中国建筑工程鲁班奖”等。

《换流站工程建设典型经验》分册分为电气篇、土建篇、设计篇、其他篇、党建与企业文化篇五部分，共 166 项，针对换流站工程设计、施工、调试、管理等工程建设过程中

各环节典型经验，从创新点及工艺亮点、实施要点、适用范围及小结等四方面对工程建设典型经验进行总结。

本书在编写过程中，得到工程各参建单位的大力支持，在此表示衷心感谢！书中恐有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 9 月



目 录

序言
前言

一、电气篇	1
(一) 换流阀类	1
1. 双阀体换流阀吊装平台研制与安装工艺	1
2. 换流阀安装环境控制	3
3. 小组件换流阀框架安装方法改进	5
(二) 换流变压器类	5
4. 首台网侧 750kV 特高压换流变压器安装工艺	5
5. 备用换流变压器在运输小车上安装、试验完成后就位基础	8
6. 换流变压器气体继电器两端直角改为弧形弯	9
7. 换流变压器阀厅与 BOX-IN 隔断增加检修孔	10
8. 换流变压器套管辅助装置制作工艺	10
9. 低端换流变压器低频加热	11
10. 换流变压器 BOX-IN 与套管间隙控制、防发热、防感应电流	13
11. 换流变压器高建低运安全措施	14
12. 换流变压器阀侧套管与封堵处防过热措施	16
13. BOX-IN 接地跨接有效安装方式	17
14. 防止换流变压器套管封堵板发热措施	17
(三) GIS 类	18
15. 超长 GIS 五级防尘工厂化安装工艺	18
16. 低温、雾霾环境下 GIS 户外分支母线安装防尘棚	23
17. GIS 冬季施工低温安装措施	25
18. GIS 管母线户外安装无尘棚应用	26
19. GIS 安装质量过程控制措施	27
(四) 控保设备及二次系统类	29

20. 控制保护设备方舱设备现场应用	29
21. 控制保护小室无尘化设备安装工艺	30
22. 新型防风沙端子箱研制与安装工艺	33
23. 控制电缆敷设防低温措施	35
24. 电缆埋管处理工艺	36
(五) 调试类	37
25. 换流站分系统调试典型经验	37
26. 换流变压器一次注流试验	40
27. 换流阀低压加压试验	42
28. 500kV 降压变压器采用电压法进行一次注流试验	45
29. 交流场信号回路串电问题排查方法	46
30. 换流变压器局放试验过程中验证末屏分压器变比	47
31. 直流场隔离开关分合闸动作时间验证	49
32. 分系统调试工作带电前再次传动验证	54
(六) 其他	54
33. “十步法”端子连接工艺	54
34. 750kV 金具防电晕工艺	58
35. 大挡距母线测量制作安装施工工艺	60
36. 管母线角度线夹改进	62
37. 750kV 罐式断路器与 750kV 五柱隔离开关管母线连接安装	63
38. 扩径导线压接工艺改进	64
39. 6250A 金具接头发热专项管控措施	65
40. 直流场平波电抗器安装措施	66
41. 相色标识采用环形反光贴	67

二、土建篇 68

(一) 户外场地	68
42. 优化站区规划和总平面布置	68
43. 土方回填质量控制工艺	73
44. 回填土工艺	73
45. 浆砌石挡土墙斩假石施工工艺	74
46. 预制混凝土砌块护坡工艺	76
47. 护坡采用专业压花工具压制施工经验	77
48. 清水混凝土框架填充墙施工工艺	78
49. 提高装配式围墙安装精度	80
50. 围墙压顶不锈钢滴水线槽	82
51. 雨水井工艺	83
52. 油池盖板	84

53. 井盖、雨水算子	85
(二) 通用建筑	86
54. 综合楼外墙一体化板施工工艺——寒地区一体化保温板的应用	86
55. 严寒地区一体化保温板的应用	87
56. 压型钢板门窗收边工艺	88
57. 换流变压器设备洞口包边工艺	89
58. 主控楼地面砖及吊顶板排版工艺	91
59. 综合楼干挂瓷砖施工经验	93
60. 建筑物地砖粘贴对缝及不同区域合理过渡经验介绍	94
61. 地砖工艺	95
62. 防静电地板工艺	96
63. 填充墙工艺	98
64. 外墙干挂砖工艺	99
65. 屋内吊顶	99
66. 勒脚砖	100
67. 建筑物装饰对缝施工工艺	101
68. 吊顶与暖通空调风口	102
69. 综合楼坡屋面施工工艺	103
70. 继电器小室平屋面改坡屋面施工工艺	105
71. 钢结构屋面防渗漏新材料运用	106
72. 建筑物电缆竖井可拆卸式封闭施工工艺	107
73. 检修箱订货前要求厂家开设电缆接引孔	111
74. 建筑室内配电箱、开关及插座工艺	112
75. 综合楼管道根部防渗施工工艺	113
(三) 防雷与接地	115
76. 防雷断接卡盒加防雨罩施工工艺	115
77. 接地网放热焊施工经验	115
(四) 户外配电装置土建	118
78. 超长 GIS 大板基础施工工艺	118
79. GIS 外露设备基础人工倒角工艺	120
80. 提高 GIS 设备基础埋件精度	121
81. 外露设计基础人工倒圆角工艺改进	123
82. 杯口基础	124
83. 承台基础	125
84. 基础防腐工艺	126
85. 换流变压器本体基础	127
86. 换流变压器基础	127
87. 外露基础倒圆角施工工艺	128

88. GIS 室内大量埋件的精度控制	129
89. 电抗器基础钢筋绝缘扎带	130
90. 基础倒角气泡控制	131
91. 保护帽施工	132
92. 组合钢模板防火墙施工工艺	132
93. 木塑模板 U 形卡具连接技术	135
94. 清水混凝土防火墙	137
95. 防火墙工艺	139
96. 防火墙	140
97. 换流变压器清水混凝土防火墙高分子塑料模板施工工艺	141
98. 高抗防火墙(剪力墙)整版浇筑	143
99. 换流变压器防火墙两板浇筑	144
(五) 户外场地	145
100. 换流变压器广场施工工艺	145
101. 站前区及换流变压器广场采用暗井设计	147
102. 换流变压器轨道广场混凝土预制块施工工艺	148
103. 关于沥青混凝土路面质量改进、优化的措施	149
104. 搬运轨道及广场工艺	149
105. 道路工艺	150
106. 场地封闭砖	151
107. 路缘石	152
108. 混凝土礅磋坡道	153
109. 预制混凝土散水	154
110. 换流变压器搬运轨道螺栓套筒连接工艺	154
111. 搬运轨道钢轨安装精度控制工艺	156
112. 搬运轨道钢轨旁凹槽施工工艺	158
113. 道路混凝土开裂处理	159
114. 建筑物坡道加入钢格栅有效控制坡道裂纹、破损	160
115. 场地面包砖铺设	161
116. 装配式电缆沟施工工艺	163
117. 换流站综合隧道施工工艺	164
118. 室外电缆沟检修孔预制施工工艺	167
119. 装配式电缆隧道工艺	168
120. 电缆管埋设施工经验	170
121. 电缆沟盖板嵌入成品胶垫, 增强盖板平整性	171
122. 电缆沟盖板	172
123. 电缆埋管支撑架	173
(六) 施工管理	174

124. 安全文明施工	174
125. 轻型移动式钢轨搬运装置	175
126. 压密注浆施工工艺	177
127. 高寒地区混凝土冬期施工工艺	178
128. 四通一平与主体工程交叉施工	181
129. 384m 长 GIS 室施工流水的有序安排	181

三、设计篇

130. 750kV 交流滤波器组布置于 GIS 两侧	183
131. 建筑三维数字化设计方法	183
132. 钢结构建（构）筑物基础连接方式优化设计	184
133. 交流滤波器场全联合构架复杂节点优化设计	185
134. 交流滤波器场小组围栏网门优化设计	185
135. 优化换流变压器防火墙上设备布置及金具连接方式	186
136. 提高换流变压器防火墙上设备支架支座抗风性能	187
137. 高土壤电阻率情况下全站主接地设计	187
138. 挖方区挡土墙与降噪围墙结合设计	188
139. 预防交直流端子接头发热的控制措施	189
140. 建筑抗风沙设计	190
141. 水系统防冻设计的典型经验	191
142. 暖通系统抗风沙设计	193
143. 提升空冷器保温室防风沙效果	194
144. 换流站防寒、防雪、防风沙优化设计	196
145. 500kV GIS 伴热带优化设计	196
146. 电缆沟过渡桥架设计	197
147. 主/辅控制楼设置电缆夹层代替电缆沟	198
148. 优化电缆沟盖板及防风沙措施与配电装置区场地封闭相结合	199
149. 电缆沟三通、四通桥架优化设计	200
150. 继电器小室吊装空调机采用风道有组织送风	200
151. 空冷棚优化设计的典型经验	203
152. 500kV GIS 室通风系统控制优化设计	204
153. 750kV GIS 基础设计	204
154. 交流滤波器编号优化设计	205
155. 750kV 交流滤波器场五柱水平旋转组合隔离开关的应用	206
156. 改进型田字形交流滤波器场布置方式	207
157. 灵州站联络变压器 750kV 侧进线优化	209
158. 母线高压电抗器布置优化	212

四、其他篇 213

159. 加强管控，制定详细需求计划，晋北站换流变压器全部按时准时到货 213

160. 物资供应现场项目部开展物资计划量化管理考核机制 213

161. 浅析换流站土建工程在极寒环境项目监理管控 214

162. 和谐团队建设典型经验 218

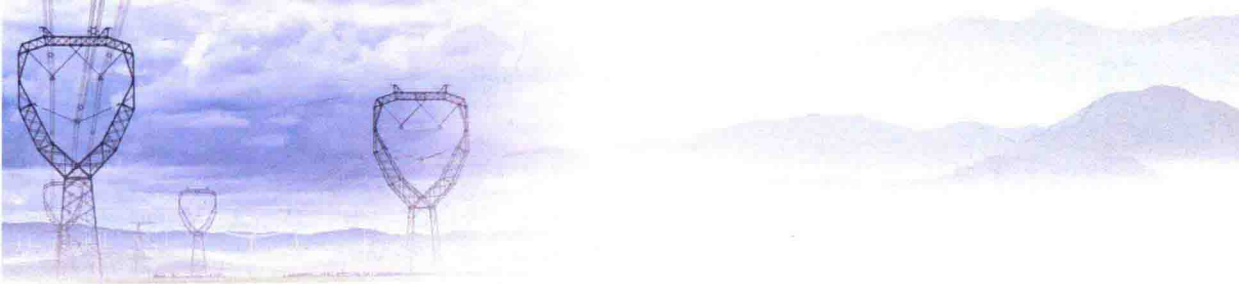
163. 监理如何管理好施工单位 220

五、党建与企业文化篇 222

164. 工程现场党建工作经验总结 222

165. 工程现场企业文化落地工作经验总结 228

166. 换流站工程建设各阶段临时党支部 232



一、电 气 篇

(一) 换 流 阀 类

1. 双阀体换流阀吊装平台研制与安装工艺

(1) 创新点及工艺亮点:

灵州换流站采用的换流阀为单相双阀塔结构, 比较常规换流阀塔(单塔结构), 双阀塔结构换流阀单项的组件安装量是单阀塔的 2 倍, 为确保此类换流阀安装的进度要求, 现场针对此问题, 研究制作了双阀体换流阀吊装平台(见图 1-1), 应用于换流阀的设备安装, 不仅大大提高了安装效率, 而且降低了人员高空作业的安全风险, 借助于此平台进行换流阀安装, 通过比较得知, 双阀塔换流阀单相安装的整体时间优于常规单塔换流阀的安装时间。

主要创新点:

- 1) 平台设计成双阀模块(双屏蔽罩)容量, 单次升降, 可以安装双阀模块、双屏蔽罩, 提高作业效率。
- 2) 平台底部设置滑轮, 方便在地面平行移动。
- 3) 平台设置专用操作区域, 周围设置围栏, 作业人员在操作区域进行操作, 降低人员高空作业安全风险。
- 4) 平台采用拼装式, 方便平台的拆卸、拼装及整体运输。



(a)



(b)

图 1-1 双阀体换流阀吊装平台图

(a) 总体效果 1; (b) 总体效果 2



(2) 实施要点 (见图 1-2):

根据灵州换流站换流阀设备特点,通过比较常规单阀体换流阀,从单次安装双模块、双屏蔽罩思路出发,设计拼装式换流阀双模块升降操作平台。

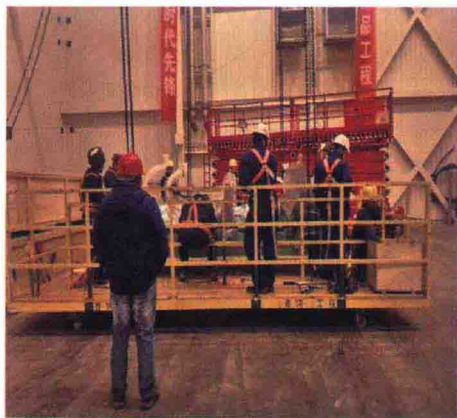
在换流阀安装前,先在地面进行换流阀地面预组装,将阀组件的组装工作量放在地面,预组装检查结束后,借助双模块换流阀安装升降操作平台进行屏蔽罩、换流阀主体的安装,一次升降可以一次性安装 2 个屏蔽罩、2 个阀模块,且使用操作平台作业时,操作人员站在平台操作区域内进行安装作业,相比较使用升降平台车,体现出使用平台安装的高效性、安全性及灵活性。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-2 双阀体换流阀吊装平台实施要点

- (a) 设置专用的人员操作区域、换流阀设备放置区; (b) 拼装式平台方便装拆、运输及移动;
(c) 使用平台, 一次升降, 安装 2 个换流阀模块; (d) 作业人员站在双围栏内的作业区域, 安全性更高

(3) 适用范围:

本经验适用于换流站工程中类似的单相双塔设计的换流阀安装施工。

(4) 小结:

针对单相双阀塔的换流阀设备安装,可借助于本拼装式双模块换流阀安装升降操作平台,将组装工作留在地面,一次升降高空作业安装双模块、双屏蔽罩,有效提高了双模块

换流阀的安装效率，同时高空作业人员在规定操作区域进行安装操作，不仅提高了操作灵活性，也保障了作业人员的安全，值得在其他工程中类似换流阀设备的安装中推广，本课题研制的专用平台，也获得了 2017 年度中电建协 QC 成果三等奖。

2. 换流阀安装环境控制

(1) 创新点及工艺亮点：

某换流站是首个容量高达 10 000MW 的换流站，换流阀安装需要更严格的质量控制，采用科学的管理方法、更先进的检测设备控制换流阀安装的环境质量，以保证安装质量。换流阀安装环境控制效果如图 1-3 所示。



图 1-3 换流阀安装环境控制效果图

(a) 总体效果 1; (b) 总体效果 2

(2) 实施要点：

现场建立换流阀安装六级防尘制度。

1) 一级：换流阀安装前对阀厅钢构及墙面进行全面清理，同时在地面铺设地板革，防止地面产生尘埃。

2) 二级：落实阀厅出入管理制度，进入阀厅人员需更换专用工作服和鞋子（或套无尘鞋套）。

3) 三级：在阀厅人员通道处设置全自动感应风淋房，进行风淋除尘，对进入阀厅人员全身进行除尘。

4) 四级：换流阀从开箱检查、过程安装，使用防尘塑料薄膜进行防尘，安装结束后，采取整体包裹的方式对阀塔整体包裹，确保粉尘落入阀模块电子元器件，全过程对换流阀进行防尘保护。

5) 五级：采用环境监测一体机系统实时监控阀厅安装环境，当环境超出要求值时，设备会自动鸣笛报警，同时将以发送报警短信的形式提醒质量控制人员。

6) 六级：阀厅内部安排卫生清理人员，使用自动地面清洗机，实时清洗阀厅地面，开启阀厅空调自净化功能，对阀厅内空气质量自循环净化除尘，保证换流阀设备安装环境粉尘度满足安装要求。

六级防尘制度实施要点如图 1-4 所示。