

超高海拔风机基础高强灌浆裂缝修复技术的应用

王 俊 胡华君

中国水利水电第十工程局有限公司 四川 成都 610036

摘 要：本文旨在探讨超高海拔环境下的风机基础高强灌浆裂缝修复技术的应用与实践。随着现代工程技术的不断发展，超高海拔地区的基础设施建设日益增多，然而这些地区独特的自然环境条件，如低温、低气压、强风等，对风机基础高强灌浆结构的耐久性提出了严峻挑战。裂缝作为风机基础高强灌浆结构最常见的病害之一，在超高海拔环境下尤为突出。因此，研究并应用风机基础高强灌浆裂缝修复技术，对于保障超高海拔地区基础设施的安全与稳定具有重要的意义。

关键词：超高海拔；低温；风机基础；高强灌浆；裂缝修复技术

引言：高海拔地区由于昼夜温差大、风速高、日照强等特点，风机基础高强灌浆结构在长期使用过程中，由于风机基础高强灌浆体成型后养护不及时，受到风吹日晒，表面水分散失较快、体积收缩较大，而内部湿度变化确很小、收缩也小，因此表面收缩变形受到内部风机基础高强灌浆体的约束^[1]，出现了拉应力，引起风机基础高强灌浆体表面开裂，产生裂缝。从而引起结构强度的下降，使潜在危险大大提高。

1 工程概况

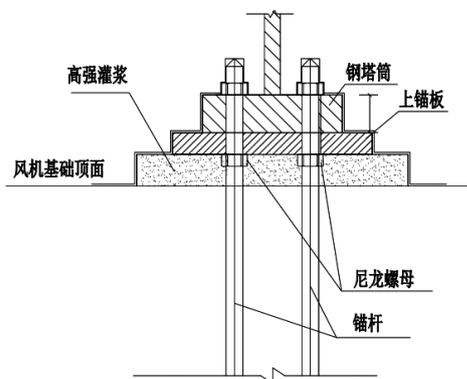


图1 风机基础高强灌浆结构剖面图

八宿县10万千瓦保障性并网风电项目位于西藏自治区昌都市八宿县邦达镇和卡瓦白庆乡境内，场址中心距八宿县直线距离约20km，场区海拔在4700.00m~5200.00m之间，机位处的平均海拔约为5050.00m。该项目的主要任务为向西藏电网供电，总规划装机容量为100MW，配套新建一座110kV升压站（邦达110kV升压站）。整个风电场区安装20台、单机容量为5MW的双馈风力发电机组，均布置于连续的山脊上；机型叶轮直径为195m，轮毂高度为110m，采用钢制塔筒，其基础为重力式圆形钢筋混凝土扩展基础，基础混凝土浇筑为一次成型。每台

风机发电后，经箱变进行升压至35kV后接入升压站，集电线路共4回路，每回集电线路连接5台风机。该项目于2024年4月2号开工，10月31号前完成全容量并网工作，总工期为7个月。项目设计额定容量为100MW，单位投资为6762元/KW，总投资为69369万元。

2 超高海拔地区裂缝产生的原因及特点

2.1 原因

温度变化：超高海拔地区气温变化大，昼夜温差悬殊，导致风机基础高强灌浆裂缝修复等材料热胀冷缩不均匀，产生裂缝。

冻融循环：寒冷的气候条件下，冻融循环频繁，使材料的结构受到破坏，产生裂缝。

地质活动：部分超高海拔地区地质活动频繁，如地震、山体滑坡等，会对建筑物和结构物造成破坏，产生裂缝。

施工质量：在超高海拔地区施工，由于条件艰苦，施工难度大，可能存在施工质量问题，导致裂缝的产生。

2.2 特点

裂缝宽度较大：由于超高海拔地区的特殊环境，裂缝往往比低海拔地区的裂缝宽度更大。

裂缝深度较深：裂缝可能深入到结构内部，对结构的安全性和耐久性造成更大的威胁。

裂缝发展速度快：在恶劣的环境条件下，裂缝的发展速度往往比低海拔地区更快。

3 超高海拔环境对裂缝修复的影响

低温环境：超高海拔地区温度低，对灌浆修复材料的低温性能提出了更高要求。低温下灌浆修复材料的流动性、固化时间等性能均会发生变化，影响修复效果。

低气压环境：低气压环境下，灌浆修复材料的挥发速度加快，可能导致材料性能不稳定，影响裂缝修复

质量。

强风环境：强风不仅增加了施工难度，还可能对刚修复好的裂缝造成二次破坏。

4 风机基础高强灌浆裂缝修复技术概述

风机基础高强灌浆裂缝修复技术是一种利用压力设备将具有高强度、高粘结性和低渗透性的灌浆修复材料注入裂缝内部，通过填充、渗透和挤压密实等方式，使裂缝得到有效的修复。该裂缝修复技术具有适用范围广、修复效果好、施工简便等优点。

根据修补裂缝的宽度不同，将裂缝修补材料分为裂缝压注胶和裂缝注浆料两类。而裂缝压注胶又分为裂缝封闭胶和裂缝修复胶两类（详细参数及分类见下表1）。

表1 裂缝修补胶分类性能参数表

序号	裂缝宽度 w (mm)	胶黏剂类型	压注胶类型	作用
1	w < 1.5	环氧压注胶	修补胶	恢复开裂构件的整体性和抗拉强度
2			封闭胶	封闭、填充裂缝
3	1.5 ≤ w < 3	环氧注浆料		用于混凝土基层和砌体结构构件的裂缝修补
4	3 ≤ w < 5	水泥注浆料		用于混凝土基层和砌体结构构件的裂缝修补

材料的选择：JGN804A改性环氧树脂低粘度灌缝胶。

材料的成分：JGN804A改性环氧树脂低粘度灌缝胶是以环氧树脂为主剂，加入稀释剂、增韧剂、固化剂等成分所形成的A、B双组份改性环氧树脂低粘度灌浆材料。A组成分是以环氧树脂为主的体系，B组成分固化剂。

材料的特点：JGN804A灌缝胶系为A、B双组改性环氧类低粘度液状胶粘剂。具有低粘度、渗透力强，能注入0.1mm宽的微裂缝；抗老化、耐介质(酸、碱、水)性能好；不含挥发性溶剂、硬化时不收缩；固化后韧性和抗冲击力优异且放热少、适用期长、灌注工艺简单等特点^[2]。

材料的性能指标：该项目选用的材料满足GB/T50728-2011《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》1类A级胶的标准。

表2 JGN804A改性环氧树脂低粘度灌缝胶性能指标参数表

项目	指标
抗拉强度(MPa)	≥ 25
受拉弹性模量(MPa)	≥ 1.50x10 ³
伸长率(%)	≥ 1.7
抗弯强度(MPa)	≥ 30, 且不得呈破裂状破坏
抗压强度(MPa)	≥ 50
无约束线性收缩率(%)	≤ 0.3
钢对钢拉伸抗剪强度标准值(MPa)	≥ 15
钢对钢对接抗拉强度(MPa)	≥ 20

续表：

项目	指标
钢对干态混凝土正拉粘结强度 (MPa)	≥ 2.5, 且为混凝土内聚破坏
钢对湿态混凝土正拉粘结强度 (MPa)	≥ 1.8, 且为混凝土内聚破坏

调配的方法：常温条件下，按重量比为A:B = 3 : 1。

施工过程中的配套工具：注胶器、底座、堵头。

材料包装贮存要求：AB双组改性环氧树脂低粘度灌缝胶应当分桶装，A组分9kg/桶，B组分3kg/桶。须贮存于阴凉通风的室内，贮存期 ≤ 12个月。

5 风机基础高强灌浆裂缝修复技术应用实例

以西藏自治区昌都市超高海拔地区“八宿县 10 万千瓦保障性并网风电项目”的风机基础高强灌浆结构的裂缝修复为例，该风场地区海拔在4700.00m~5200.00m之间，机位处的平均海拔约为5050.00m。该项目风机基础高强灌浆结构在施工过程中发现了多处细微裂缝，严重威胁风机的后期运行安全。经过全面的分析后，决定采用风机基础高强灌浆裂缝修复技术进行修复。具体步骤如下：

裂缝检测与评估：在施工前采用无损检测技术对裂缝进行全面检测，评估确定裂缝的位置、宽度、深度、形态和走向等参数，为后续的修复工作提供完整可靠的依据。

裂缝处理：对裂缝表面进行清理干净，凿除结构表面析出物及松散颗粒和油污等杂质，使其表面洁净、干燥，用酒精或丙酮清洗裂缝浅表层和需要封口的表面，确保灌浆材料能够充分渗透。

粘贴注胶底座：底座安装顺序由下到上；平面位置可以从一端开始，单孔逐一连续进行安装，底座安装间距为300mm/个。

封闭裂缝：采用专用封口胶或其他锚固胶封闭需要灌注的裂缝，施工作业时要充分封闭好，防止灌胶过程中胶液泄漏，且在裂缝顶端预留观察口^[3]。

灌浆材料配制：根据裂缝特点和环境条件，将JGN804A改性环氧树脂低粘度灌缝胶严格按出厂要求比率调配到位，配胶时严格按用多少配多少的原则，不得多配，以免浪费。

裂缝灌注施工：先将调配好的胶体吸入灌注器内，然后将灌注器安装在底座上灌注，灌注时间一般为30分钟左右，施工过程中以灌注器内不跑胶或预留观察口出胶为准，如果灌注器内胶体灌完需重新补胶灌注时，直至裂缝完全填充为止。

拆除灌注器、固化养护与检测：裂缝内部完全注满后应及时拆除灌注器，底座用堵头堵住，静置12小时固化后方可拆除底座和封口部位，且及时进行养护，待灌

浆材料完全固化后进行检测,确保修复效果。

6 风机基础高强灌浆裂缝修复技术的难点与解决方案

6.1 风机基础高强灌浆裂缝修复技术难点

6.1.1 恶劣气候条件

超高海拔地区气候寒冷,空气稀薄,强风、暴雪等极端天气频繁。这使得施工条件极为恶劣,不仅对施工人员的身体健康造成了威胁,也给施工设备的正常运行带来了困难。同时,低温环境也会影响修复材料的性能,如降低其粘结力和耐久性等。

超高海拔缺氧

超高海拔地区氧气稀薄,施工人员大多数均容易出现高原反应,对工作效率和身体健康造成了较大的影响。同时,缺氧也会影响施工设备的性能,降低其动力输出和工作效率。

6.1.2 材料选择困难

由于超高海拔地区的环境特殊,对风机基础高强灌浆结构的裂缝修复材料的要求非常高。材料需要具有良好的耐低温、耐紫外线、耐老化性能,同时还需要具有较高的粘结力和耐久性。然而,目前市场上符合这些要求的修复材料相对较少,选择困难。

6.2 解决方案

6.2.1 优化施工方案

针对恶劣的气候条件,我们制定了合理的施工方案。在施工前,充分考虑天气变化因素的影响,合理的安排施工时间和进度计划。采用先进的施工设备和技术,提高施工效率和质量。同时,加强施工人员的安全防护,确保施工安全。

6.2.2 选择合适的材料

选择适合超高海拔地区风机基础高强灌浆的裂缝修复材料,应确保其材料具有良好的流动性、强度、耐久性和适应性,同时还应具有良好的耐低温、耐紫外线、耐老化和较高的粘结力等性能。此外,还可以考虑采用新型的修复技术,如纳米材料修复技术、仿生修复技术等提高修复效果。

6.2.3 提高施工人员素质

在风机基础高强灌浆结构裂缝修复作业前,应对施工人员进行专项培训,在施工过程中,应当加强对施工作业人员的安全管理,从而提高施工人员的专业素质和安全意识。在超高海拔地区的施工人员应当具备一定的高原施工经验和技能,能够适应高海拔地区的工作环境。同时,还应加强对施工人员的健康管理,定期进行

体检,确保施工人员的身体健康。

6.2.4 加强监测与维护

在裂缝修复后,加强对修复部位的监测与维护,及时发现问题并进行处理。建立健全的监测体系,采用先进的监测设备和技术,对修复部位的变形、位移、裂缝宽度、深度、灌浆饱满度等进行实时监测。同时,定期对修复部位进行检查和维护,确保修复的效果及持久性。

6.2.5 加强施工作业保护措施

在强风环境下施工时,采取必要的施工保护措施,如搭建挡风设施、增加施工人员数量等,确保施工质量不受强风因素的影响。

6.3 风机基础高强灌浆裂缝修复的质量和效果

超高海拔地区的裂缝修复技术难点众多,但通过优化施工方案、加强材料的选择、提高施工人员素质和加强监测与维护等措施,可以有效地解决这些技术难点,提高裂缝修复的质量和效果。

同时该项目经过风机基础高强灌浆裂缝修复技术的处理,从而使裂缝得到了有效的修复,风机基础的高强灌浆结构的安全性和耐久性也得到了显著的提高。由于该项技术的应用也缩短了工程的施工周期,降低了工程成本。

7 结束语

超高海拔地区的裂缝修复是一项具有挑战性的任务。风机基础高强灌浆裂缝修复技术作为一种有效的修复手段,在超高海拔地区的工程建设中具有重要的应用价值。通过合理选择材料、优化施工工艺、严格控制施工质量等措施,可以有效地提高风机基础高强灌浆裂缝修复技术的应用效果。

风机基础高强灌浆裂缝修复技术在超高海拔环境下具有显著的应用优势,能够有效的解决灌浆结构裂缝的问题,提高结构的承载能力和耐久性。未来,随着材料科学和工程技术的不断进步,风机基础高强灌浆裂缝修复技术将在更多领域得到广泛应用。同时,也需要进一步加强对超高海拔环境下裂缝修复技术的研究和探索,以应对更加复杂多变的自然环境条件。

参考文献

- [1]吴庆.钢筋混凝土结构非荷载裂缝的分析与控制[D].安徽:合肥工业大学,2003: 01-67.
- [2]刘雯.地下室外墙裂缝的成因分析与预防措施[J].城市建设理论研究(电子版),2015,5(18):5211-5212.
- [3]邱雪平.公路桥梁施工裂缝的成因与对策[J].交通世界(建养.机械),2013,20(2):202-203.