

东南亚工况规范

在深圳或波士顿通过出厂测试的机器人，到了新加坡的小贩中心或雅加达的商场会遇到另一个世界。这是我们让每台机器人上岗前必须满足的工况规范，每一条都附数字及其来源。

Published 2 Oct 2026 27 min read 65 linked sources Sheet GC-R-002

多数机器人产品手册标注的工作范围是 0 到 40 °C、相对湿度 20% 到 80%、无凝露。东南亚每天下午都处在这个范围的顶角，而对任何一台从空调大堂驶入装卸区的机器人来说，“凝露”是每天都发生的事。我们工作的五座城市共享同一种气候、同一种电压、两类插头、五种语言，以及一套围绕轮椅、手推车和清洁车设计的建筑存量。这些都不在产品手册里。这份规范把它们写在一处。

我们为三类读者写下它。想在这里销售的机器人厂商，他们更愿意从一份文件而非一张保修单里了解环境。需要一份清单交给供应商的买家。还有我们自己，因为下面每一条都是机器人以我们的名义进入场地之前要跑测试。

如何阅读这份规范

第 09 节是规范本身：24 条编号要求，每条给出要求、依据的数字和我们使用的测试。第 01 到 08 节是证据。数字带有标注：在监管机构、标准机构或气象部门页面上读到的为● VERIFIED；来自媒体或厂商的为● REPORTED；我们自己计算或推断的为● ESTIMATE。

01 气候包络

五座城市都在赤道 14 度以内。从新加坡到曼谷，每天的规律一样：夜间约 25 °C，午后 32 到 34 °C，湿度很少低于 60%，午夜到黎明高于 85%，雨季大约每两个下午就有一场雷暴。城市之间的差异，小于同一座城市里大堂和停车场之间的差异。

CITY	MEAN DAILY MAX	MEAN DAILY MIN	MEAN HUMIDITY	RAIN A YEAR	RAIN DAYS	RECORD HIGH	BASIS
Singapore	30.5 to 32.4 °C	24.3 to 25.7 °C	82%	2,113 mm	171	37.0 °C	MSS normals ⁸ ● VERIFIED
Kuala Lumpur	32.9 °C	24.4 °C	81%	2,847 mm	167	38.5 °C	WMO normals ¹³ ● REPORTED
Jakarta	32.5 °C	about 24.8 °C	81%	1,933 mm	118	37.9 °C	WMO normals ¹⁴ ● REPORTED
Ho Chi Minh City	33.0 °C	24.9 °C	78%	1,970 mm	121	40.0 °C	QCVN 02:2009 ¹⁵ ● REPORTED
Bangkok	33.7 °C	25.4 °C	73%	1,702 mm	105	41.0 °C	WMO normals ¹⁶ ● REPORTED

新加坡的数据来自樟宜气候站 1991 至 2020 年的气候平均值，黎明前湿度平均 93% 到 97%，最高气温纪录 1983 年在登加创下，2023 年 5 月 13 日在宏茂桥追平。⁸ 吉隆坡、雅加达和曼谷为参考表中转载的 WMO 1991 至 2020 年平均值，胡志明市来自越南建筑规范 QCVN 02:2009。曼谷在普通年份最热的一天可达 38.4 °C，纪录于 2023 年 5 月 7 日创下。¹⁶ 新加坡测得的最高热应激值（湿球黑球温度 35.0 °C）出现在 2025 年 10 月 31 日的圣淘沙，当年有 29 个高热应激日。¹⁰ ● VERIFIED

两个数字比平均值更重要。第一个是最高气温纪录，因为机器人的电子件和电池会在装卸台、天窗下或停放的货车里遇到它。第二个是夜间湿度，因为在没有空调的储物间过夜充电的机器人，要在 90% 湿度里待八个小时，然后在黎明升温。

烟霾

每隔几年，苏门答腊和加里曼丹的林火就会让烟雾笼罩新加坡、吉隆坡和雅加达数周。最严重的一次把新加坡的 24 小时污染标准指数推到 322（2025 年 9 月 25 日），那一季有十次不健康时段，最长一次持续 164 小时，¹¹ 而 2026 年 9 月 15 日全岛烟霾再次达到不健康水平。¹² 2015 年数据为● VERIFIED，2026 年为● REPORTED。细颗粒物会堵塞滤网，覆盖激光雷达窗口和摄像头，沉积在风扇上。按洁净室内空气设计的机器人，在那几周里面面对的是在出厂检验时会被判不合格的空气。

02 凝露：每天发生、却没人测试的故障

本地区的室内温度设定在 22 到 24 °C。室外典型的午后是 32 °C、80% 湿度，这种空气的露点约为 28 °C。● **ESTIMATE** 一台在大堂待了一小时的机器人，表面温度约 23 °C。当它跨过门槛时，它的每一个表面都比周围空气的露点低 5 °C，水立刻在上面凝结：在摄像头窗口上，在激光雷达罩内，在每个通风口后面的电路板上，在接插件的针脚上。水大约二十分钟后干掉，而水膜带来的盐分和灰尘留下来，继续腐蚀。

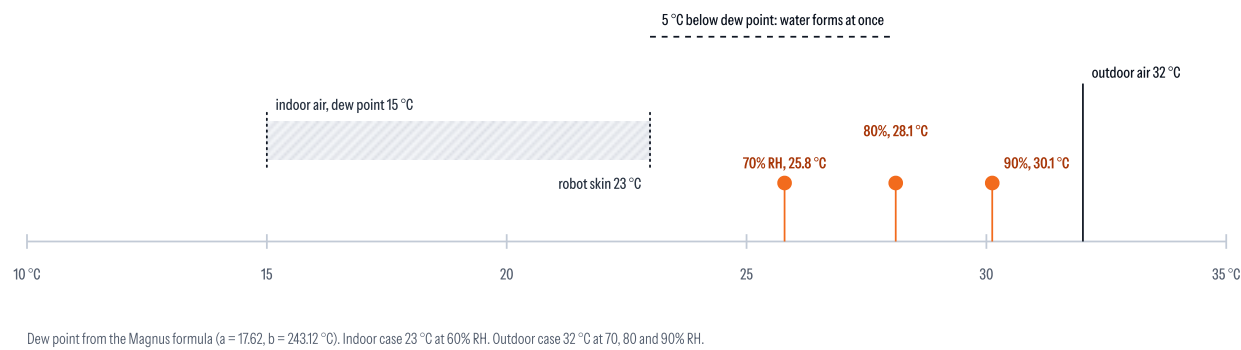


FIG 1 A robot cooled to 23 °C indoors crosses into 32 °C outdoor air whose dew point is 26 to 30 °C. Every surface on it is below the dew point, so condensation is certain, with no rain and no splash. ● **ESTIMATE**

标准对这种空气有专门的说法。32 °C、85% 湿度的空气每立方米含水 28.6 克，高于 IEC 60721-3-3 中 3K3 等级的 25 克上限，而 3K3 正是多数室内电子设备所依据的防护等级。¹⁸ 这是以● **REPORTED** 的等级限值做的● **ESTIMATE**。

对应的测试是存在的。IEC 60068-2-30 是循环湿热试验：把设备保持在 25 °C，在 12 小时内升到 40 或 55 °C、95% 湿度，再降回来，反复进行，试样上出现凝露是该试验明确的一部分● **VERIFIED**。¹ 很少有服务机器人的产品手册提到它。我们会索要这份报告，如果厂商没有，我们在验收前自己做两个循环。

设计上的答案在户外通信和船用电子设备行业早已成熟：所有电路板做三防涂覆，接插件密封并镀金，用透气膜通风孔让外壳呼吸而不进液体，摄像头和激光雷达窗口加热或做疏水处理，开机程序先等光学器件清晰再信任它们。

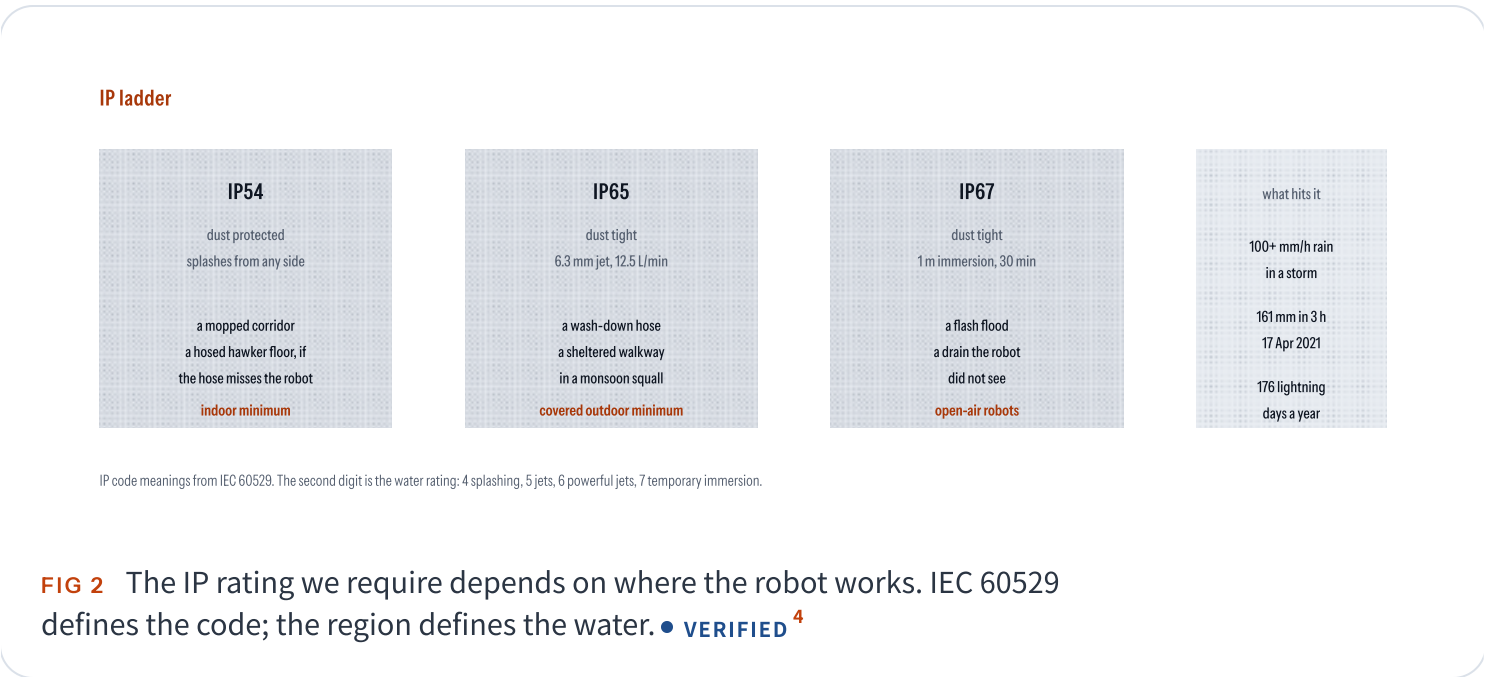
03 暴雨、冲洗和湿地面

新加坡每年约有 176 个闪电日，是世界上最多的地方之一● **VERIFIED**。² 带来闪电的风暴也带来每小时超过 100 毫米的降雨。樟宜的纪录是 60 分钟 147 毫米、30 分钟 96 毫

米，都发生在 1995 年 11 月 2 日，⁹ ● VERIFIED 2021 年 4 月 17 日新加坡西部三小时降雨 161.4 毫米，³ 2024 年 10 月 15 日吉隆坡市中心测站一小时降雨超过 114 毫米。¹⁷

● REPORTED 一台在这样的风暴里被困住的户外配送机器人面对的不是毛毛雨，而是一根花园水管都模拟不出来的水量。

室内比厂商想象的更湿。小贩中心和湿巴刹每天用水管冲洗，商场中庭的花坛夜间浇水，医院走廊按时拖地。地面是抛光的通体砖，湿了之后几乎没有摩擦力，排水沟的格栅缝隙宽到足以卡住小脚轮。



市场上在卖的产品，按厂商自己的手册：普渡 CC1 清洁机器人防护等级 IPX4，工作温度 1 到 40 °C，湿度最高 85%，可通过 20 毫米障碍和 35 毫米缝隙。¹⁹ 其 BellaBot Pro 配送机器人 IP20，仅限室内，手册写明“请勿在潮湿环境中使用”。²⁰ 高仙 Phantas 为 IPX3，耐温 45 °C 但湿度上限只有 75%，手册写明雨天不得在室外使用；Scrubber 50 的湿度上限同样是 75%。^{21 22} Avidbots Neo 2 和宇树 Go2 的上限是 35 °C，^{23 24} 宇树没有公布 Go2 或 G1 的防护等级，两者的手册都写明不防水。²⁵ 作为户外参照的波士顿动力 Spot 为 IP54，耐温 55 °C。²⁶ 对照气候表：新加坡月平均湿度从不低于 80%，曼谷在普通的炎热日子就超过 35 °C。这些机器大多是按空调地面设计的，在厂商的测试报告另有说明之前，它们也应该留在那里。● VERIFIED，G1 为

● REPORTED

04 机器人内部的热

电池是热带环境里老化最快的部件。老化的机理主要是高温存放，而非循环。桑迪亚国家实验室的加速寿命试验把容量衰减的活化能定在约 50 到 55 kJ/mol，²⁷ 换算下来，35 °C 下的电池老化速度约为 25 °C 的两倍，45 °C 下约为四倍。● ESTIMATE

Battery University 被广泛引用的存放表用更直白的数字说了同一件事：满电的锂离子电池在 25 °C 存放一年后剩余约 80% 容量，40 °C 下约 65%。²⁸ ● REPORTED 一块在 25 °C 仓库里四年后仍保持 80% 容量的电池，在 35 °C 储物间里大约两年就到同一水平，● ESTIMATE 而夜里在那个储物间充电的机器人衰减更快，因为高温充电是锂电池最恶劣的工况。宇树 G1 在电池温度超过 50 °C 时拒绝充电。²⁵

算力会降频。服务机器人里的嵌入式计算机标称散热器处 40 或 50 °C 的环境温度，而在 33 °C 房间里的密封外壳内，风扇对着积灰的滤网，它们很快就会达到这个温度。降频时感知帧率下降，机器人减速或停下，却不报任何故障码，场地方看到的是"机器人下午偷懒"。正因如此，我们在每次故障记录中都记下主板温度。

充电有规定。新加坡消防规范把 20 kWh 以上的锂电储能视为储能系统，要求防火分区、更密的喷淋和通风，每个防火分区上限 600 kWh，²⁹ ● REPORTED 内政部在 2026 年 1 月确认，存放和充电较大量锂电池的工作场所适用这些规定。³⁰ ● VERIFIED 47 块 421 Wh 的人形机器人电池就跨过了 20 kWh 的门槛，● ESTIMATE 而机器人充电区是否算储能系统，我们读过的资料里都没有定论。实际要求是：充电器在 35 °C 房间里完整充电时电芯温度保持在 45 °C 以下，充电桩放在通风的地方，而不是清洁工具间。

05 电源与电网

五个国家都是 220 到 240 V、50 Hz，这是容易的部分。插头各不相同：新加坡和马来西亚用英式 G 型，印度尼西亚用欧式 C 和 F 型，越南用 A、C、F 型，泰国用 C、F 型和本国的 O 型。³¹ ● REPORTED，因为 IEC 自己的插头参考页拒绝了我们的读取。⁵ 发错电源线的充电桩意味着损失一周，所以我们规定每个充电桩使用 IEC C14 输入插座，并自备各国电源线。

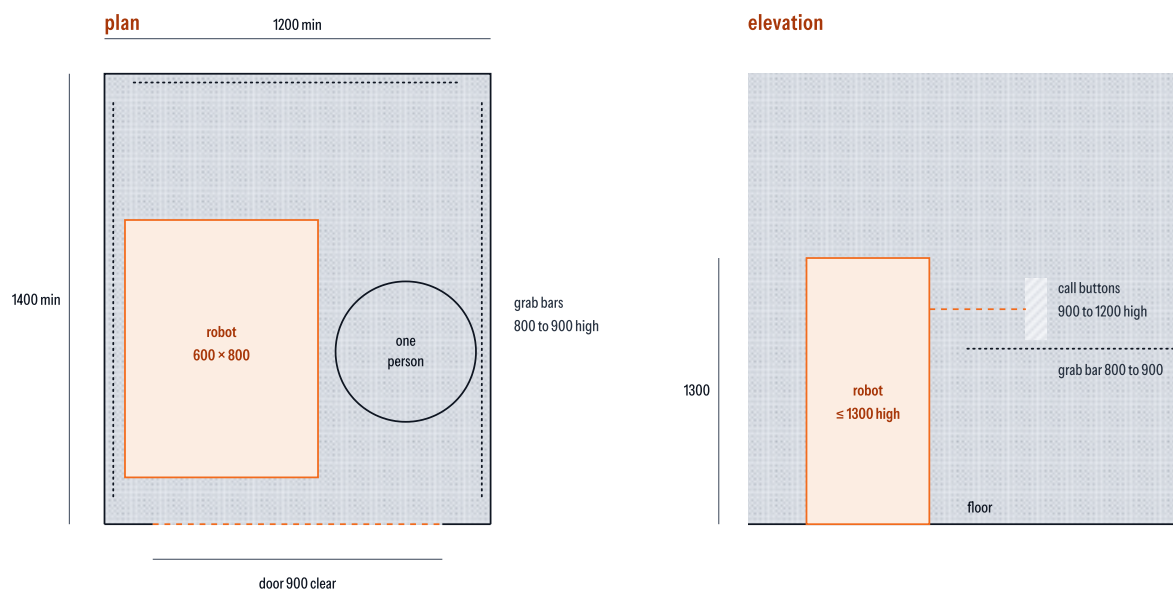
COUNTRY	MAINS	PLUGS	OUTAGE MINUTES PER CUSTOMER, 2024	SOURCE FOR THE OUTAGE FIGURE
Singapore	230 V, 50 Hz	G	0.26, with 0.006 interruptions	Energy Market Authority sustainability report ³² ● REPORTED
Malaysia	230 V, 50 Hz	G	47.9	TNB annual report, Peninsular distribution ³³ ● REPORTED
Indonesia	230 V, 50 Hz	C, F	320, with 3.2 interruptions	PLN, via ANTARA ³⁴ ● REPORTED
Vietnam	220 V, 50 Hz	A, C, F	about 231 nationally	EVN year-end review ³⁵ ● REPORTED
Thailand	220 V, 50 Hz	C, F, O	15.1 in Bangkok, with 0.51 interruptions	Metropolitan Electricity Authority ³⁶ ● REPORTED

电网质量才是城市之间真正的差别。雅加达的充电桩遇到的停电分钟数大约是曼谷的二十倍、新加坡的一千多倍。● **ESTIMATE** 真正要紧的是大停电。2023 年 5 到 6 月越南北部的轮流限电，按世界银行的初步估计造成约 14 亿美元损失，³⁷ 2025 年 5 月 2 日巴厘岛全岛停电，³⁸ 2026 年 5 月 22 至 26 日苏门答腊大停电波及八个省，棉兰断电约 19 小时。³⁹ ● **REPORTED** 在停电中失去充电桩的机器人必须不靠人工重新开始充电，失去楼宇 Wi-Fi 二十分钟的机群必须靠缓存继续工作。

雷电也是电源问题。新加坡每年 176 个闪电日，半岛北上数字相近，市电和长距离以太网线上的浪涌是家常便饭。我们要求充电桩的市电输入和任何有线网口都加浪涌保护，换过足够多烧坏的充电器之后，我们知道为什么。

06 建筑：电梯、门、坡道和地面

新加坡《2019 年建筑环境无障碍规范》规定了机器人要继承的尺寸，因为建筑按它建造，能放进轮椅空间的机器人就能适应建筑。供轮椅使用者的电梯轿厢内部至少 1200 毫米宽、1400 毫米深，门净宽至少 900 毫米，三面扶手高 800 到 900 毫米，呼叫按钮离地 900 到 1200 毫米、距任何墙面至少 350 毫米● **VERIFIED**。⁶ 电梯前厅须有 1200 × 1500 毫米的净空。⁶ 对 2025 年 11 月 1 日起提交的建筑图纸，2025 年版规范把轿厢深度加到 1500 毫米，无障碍闸门宽度加到 900 毫米，并规定有遮盖走道的地方无障碍路线必须有遮盖。⁴¹ ● **VERIFIED**



Code on Accessibility 2019, clauses 4.9.2.1, 4.9.3.1, 4.8.3.1 and 4.9.4.1. Robot envelope is ours, drawn to scale.

FIG 3 A robot with a 600 by 800 mm footprint and a height under 1300 mm fits the minimum accessible lift car of the 2019 code with one person beside it, clears the 900 mm door, and reaches the buttons without an arm by talking to the lift instead. Cars in buildings planned from November 2025 are 100 mm deeper.

● **VERIFIED** dimensions, ● **ESTIMATE** envelope

由此得出三个结论。需要乘电梯的机器人，占地应接近 600 × 800 毫米、高度低于 1300 毫米，这样轿厢里还能容下一个人。它永远不应与轮椅使用者同乘，因为 1200 × 1400 的最小轿厢放不下两者，机器人要等下一趟。它也不应该按按钮。新加坡标准 SS 713:2025 规定了机器人通过网络与电梯或门通信的方式，由早先的技术参考 TR 93 升级而来，⁷ ● **VERIFIED** 本地区越来越多的新建筑安装支持它的电梯。我们把支持 SS 713 列为跨楼层工作机器人的必备要求。

规范中的坡道坡度为 1:12，两个平台之间最长 6 米，更长的坡道更平缓，最小宽度 1,200 毫米，横向坡度不陡于 1:40；路缘坡道可达 1:10；15 毫米以内的高差可做成 1:2 的台阶，无障碍路线上的格栅须与地面平齐，缝隙不超过 12 毫米。⁴⁰ 门洞净宽 850 毫米，电梯门 900 毫米，无障碍路线在多数建筑中宽 1,200 毫米，在商场、地铁站、小贩中心和医院中宽 1,800 毫米，较窄处须有 1,800 × 1,800 毫米的错车空间。⁴⁰ ● **VERIFIED** 新加坡自 2013 年以来还修建了 186 公里有盖走道，地铁站周边另规划 50 公里，⁴² 这就是规范中“有盖室外”工况的由来。地面是任何规范都解决不了的问题：抛光通体砖上一层水膜的摩擦力低到让以 1 米/秒行驶的机器人在刹车时打滑，因此我们要求每一种驱动轮配方都做湿砖制动测试。

07 网络

我们部署的每一台机器人都带蜂窝模块，因为场地 Wi-Fi 是机群最常见的单点故障，也是场地方最不可能去修的。频段因国家和运营商而异，为中国或欧洲采购的模块可能不覆盖它们。

COUNTRY	5G BANDS IN USE	WHO RUNS THEM	MEDIAN MOBILE SPEED, AUG 2026
Singapore	n78 (3.5 GHz) with 100 MHz each to two networks, n1 (2.1 GHz) for standalone 5G, 26 and 28 GHz assigned ⁴³ ● REPORTED	Singtel; the M1 and StarHub consortium	164 down, 22 up ⁵¹
Malaysia	n78 at 3.3 to 3.5 GHz, 200 MHz on the national wholesale network since U Mobile left it on 30 June 2026 ⁴⁴ ● VERIFIED	CelcomDigi, Maxis and YTL on DNB; U Mobile on its own standalone network since August 2025 ⁴⁵	165 down, 24 up
Indonesia	n28 (700 MHz) and n41 (2.6 GHz), auctioned July 2026 with 51% population coverage due by 2029; earlier 5G on 2.1 and 2.3 GHz ⁴⁶ ● REPORTED	Telkomsel, Indosat, XLSmart	66 down, 20 up
Vietnam	n41 (2.5 to 2.6 GHz) nationwide since October 2024; 3.7 to 3.8 GHz; and 3.8 to 3.9 GHz, which sits outside n78 so the modem needs n77 ^{47 48} ● REPORTED	Viettel; VNPT; MobiFone	220 down, 40 up
Thailand	n28 (700 MHz), n41 (2.6 GHz) and n258 (26 GHz) from the 2020 auction; 850, 1500, 2100 and 2300 MHz added in 2025 ⁴⁹ ● REPORTED	AIS; True	134 down, 25 up
All five	Wi-Fi in the 6 GHz band is allowed in the lower 500 MHz, 5,925 to 6,425 MHz, in every country on the Wi-Fi Alliance's list, with one conflicting 2024 note on Vietnam. ⁵⁰ ● VERIFIED A regional robot modem's LTE list looks like the BellaBot Pro's: FDD bands 1, 3, 7, 8, 20 and 28 and TDD bands 34, 38 and 40. ²⁰		Mbps, Ookla medians

Ookla 的中位数来自用户主动测速，比被动测量的平均值高出数倍；被动测量把泰国和印度尼西亚运营商的下行速度放在 30 到 40 Mbps 附近。对任何向远程操作员传输视频的机器人来说，上行才是约束，各国中位数都在 20 到 40 Mbps。

三条登记规则会卡住机群。泰国规定每人最多五张 SIM 卡，超出者须重新验证身份，否则停止服务，所以机群 SIM 卡要登记在公司账户下。⁵² ● REPORTED 越南自 2026 年

4月15日起，SIM卡出现在另一台设备中两小时内即暂停其外呼服务，直到持卡人通过人脸生物识别验证，我们没有找到机器对机器通信的豁免，⁵³ ● VERIFIED 所以在机器人之间换SIM卡就是一张工单。印度尼西亚屏蔽IMEI未登记的蜂窝终端，嵌入机器人的通信模块是否在此列，我们读到的资料没有说明。⁵⁴ ● REPORTED 设计 requirements 是：通信模块在每个国家至少覆盖两家运营商的LTE和5G频段，SIM卡无需拆开机壳即可更换，固件能在完全断网时靠本地地图和本地任务队列至少工作30分钟。

08 人、语言与工资

五个国家有五种国家语言：新加坡的英语、马来语、华语和泰米尔语；马来西亚的马来语；印尼语；越南语；泰语。英语在新加坡和马来西亚承担商务沟通，在其他国家是第二语言。会打招呼、会警示、会求助的机器人，必须用夜班清洁工的语言来做这些事，因为救它的就是这个人。在2025年EF英语熟练度指数中，马来西亚在123个国家中排第24，越南第64，印度尼西亚第80，泰国第116；新加坡被视为英语母语国家，不再参与排名。⁵⁵ ● REPORTED 即便在新加坡，英语也是到2020年人口普查才成为最常用的家庭语言，占48%。⁵⁶ 谷歌和微软的语音合成与识别都覆盖马来语、印尼语、泰语和越南语，亚马逊能识别这四种语言却一种都不能合成，ElevenLabs的主力模型缺少泰语。^{57 58 59 60} ● VERIFIED 我们要求机器人的语音和屏显文案在每种语言下都能由我们修改，而不需要发布固件。

工资决定了机器人必须击败的价格。新加坡自2026年7月1日起，一般清洁工的最低月薪为2,080新元，机器操作员为2,700新元。⁶¹ ● VERIFIED 马来西亚最低月薪1,700令吉，约合520新元。⁶² 雅加达2026年省级最低工资5,729,876印尼盾，约合450新元；⁶³ 越南一类地区（覆盖胡志明市和河内）最低工资5,310,000越南盾，约合270新元；⁶⁴ 曼谷日最低工资400泰铢，按26天计约合每月420新元。⁶⁵ ● REPORTED，换算为2026年10月的粗略汇率，● ESTIMATE。一台每天需要半小时人工照看的清洁机器人，在新加坡吃掉了采购它所省下的五分之一，在雅加达吃掉全部。这就是为什么下面规范里的服务条款和环境条款同样重要。

09 要求清单

每一条是机器人必须满足的要求、背后的数字，以及我们执行的测试或索要的文件。"有盖室外"指有盖走道、停车场和装卸区。"露天"指人行道和公园。

环境

DS-01 高温

在 38 °C 环境温度下连续工作，在 50 °C 下存放不损坏。曼谷普通年份最热一天 38.4 °C，五城纪录 37.0 到 41.0 °C，阳光下的表面更热。测试：38 °C 环境舱内满负荷工作 8 小时，降速不低于 80%。

DS-02 湿度

在 95% 相对湿度、有凝露的条件下工作。全区夜间湿度高于 85%。测试：IEC 60068-2-30，25 到 40 °C、95% 湿度两个循环；每个循环后机器人 5 分钟内开机并完成定位。

DS-03 温差进出

每天十次从 22 °C 室内进入 32 °C、85% 湿度的室外空气而不出故障。室外空气露点 28 °C。测试：一天内十次由冷到热，摄像头和激光雷达须在每次 3 分钟内恢复清晰。

DS-04 室内防水

在有拖洗或冲洗地面的场所工作的机器人，至少 IP54。小贩中心、湿巴刹和医院走廊每天清洗。测试：IEC 60529 第二位数字 4，另加在 5 毫米水膜上行驶 10 分钟。

DS-05 有盖室外防水

有盖走道、装卸区和停车场至少 IP65。风吹雨强度超过 100 毫米/小时。测试：IEC 60529 第二位数字 5，对整机而非仅对外壳。

DS-06 露天防水

人行道和公园机器人的驱动、电池和计算模块达到 IP67。突发洪水和未被察觉的排水沟。测试：密封模块达到 IEC 60529 第二位数字 7，由厂商出具文件。

DS-07 灰尘与烟霾

外壳防尘，滤网可在现场 5 分钟内更换。烟霾期间细颗粒物连续数周达到危险水平。测试：无需工具即可更换滤网；光学器件有擦拭程序或疏水涂层。

DS-08 腐蚀

所有电路板三防涂覆；不锈钢或镀层紧固件；无裸铝接触对。离海岸 2 公里内的盐雾覆盖新加坡大部分地区以及雅加达和胡志明市的全部滨水区。测试：电路板检查，样机机壳 48 小时盐雾试验。

DS-09 雷电

充电桩市电输入和每个有线网口都有浪涌保护。新加坡每年 176 个闪电日。测试：充电桩物料清单中的浪涌保护器型号。

电源

DS-10 市电

充电桩通过 IEC C14 输入插座接受 180 到 264 V、50 Hz。五国标称 220 到 240 V，印度尼西亚和越南有电压骤降。测试：在 190 V 和 250 V 下充电，无故障，降额不超过 10%。

DS-11 停电

任意时长停电后无需人工即恢复充电；停电期间保留任务队列。新加坡以外电网中断是每月都有的事。测试：充电中拔掉充电桩电源 10 分钟后恢复。

DS-12 电池温度

在 35 °C 房间完整充电时电芯温度保持在 45 °C 以下，超过则暂停充电。老化速度大约每升高 10 °C 翻一倍，45 °C 的电池老化约为 25 °C 的四倍。测试：35 °C 环境舱内充电时在电池包上贴热电偶。

DS-13 电池寿命

35 °C 下 1,000 次循环后保持 80% 额定容量，附测试报告。热带老化快于手册寿命。测试：厂商 35 °C 或以上的循环数据，或 90 天机群容量日志。

建筑

DS-14 电梯包络

乘电梯的机器人占地不超过 600 × 800 毫米，高度不超过 1300 毫米。最小无障碍轿厢 1200 × 1400 毫米，三面有扶手。测试：卷尺实测；机器人与一名成人共乘最小轿厢。

DS-15 电梯与门的集成

跨楼层工作的机器人支持 SS 713:2025 机器人与楼宇设施通信。机器人不按按钮。测试：厂商列出已对接的电梯和门控制器，机器人在现场无人协助乘梯。

DS-16 坡度	满载时在 1:12 坡道上爬行并制动 6 米，通过 1:10 路缘坡道，跨过 15 毫米门槛。无障碍规范的坡道、路缘坡道和高差上限。测试：现场踏勘时实测坡道、路缘和门槛。
DS-17 湿地面	在湿的通体砖上从 1 米/秒刹停距离不超过 1.5 米。带水膜的抛光砖是本地区的典型地面。测试：在仓库湿砖上测制动距离。
DS-18 排水沟与缝隙	脚轮和驱动轮跨过 35 毫米格栅缝和 20 毫米障碍而不被卡住。规范把无障碍路线上的缝隙限制在 12 毫米，但后场排水沟和小贩中心冲洗区的缝隙更宽；普渡 CC1 标称可通过 35 毫米缝隙和 20 毫米障碍，以此为准。测试：仓库里的格栅样件。

网络与数据

DS-19 蜂窝网络	通信模块在每个部署国家至少覆盖两家运营商的 LTE 和 5G 频段；SIM 卡无需拆开机壳即可更换。频段因国家和运营商而异。测试：频段清单对照第 07 节的表格；在每家运营商网络上实际入网。
DS-20 离线	完全断网时靠本地地图和任务队列工作 30 分钟，恢复后无需重启。场地 Wi-Fi 比机器人更常出故障。测试：任务中途屏蔽机器人流量 30 分钟。
DS-21 数据驻留	视频和音频留在部署国境内，除非场地书面同意；厂商的远程访问有日志记录，运营方可以关闭。五部数据保护法都把摄像头画面视为个人数据。测试：对工作中的机器人做 24 小时网络抓包，每个目的地都要有交代。

人员与服务

DS-22 语言

语音和屏显文案可在英语、马来语、印尼语、越南语、泰语和中文下修改，无需发布固件。救机器人的是夜班清洁工。测试：在每种语言下修改一句话并在机器人上听到。

DS-23 现场维修

电池、驱动轮、保险杠、脚轮和故障率最高的三个模块可用手工具在现场 30 分钟内更换；故障码无需厂商云端即可读取。照看时间吃掉工资节省。测试：我们的技术人员对每个模块计时更换。

DS-24 备件

DS-23 中每个模块的备件在部署国境内有库存，并有书面的 48 小时更换承诺。从深圳寄一个轮子要一周加清关。测试：合同上的备件清单和库存地点。

这份规范的用途

厂商读完它，就知道在第一个集装箱发出之前该造什么、该测什么。买家可以把它直接贴进招标文件。我们公开它，是因为另一种选择是从保修索赔里一条一条学，而这正是本地区至今的做法。如果你有数字能纠正我们的某一条，请来信，我们会修改并致谢。

DRAWING Research note	SHEET GC-R-002	TITLE The Southeast Asia duty spec
BY Groundcrew Robotics	PUBLISHED 2 Oct 2026	LICENCE CC BY 4.0